



## Rapport final (Présentations)

---

# **Journée romande de la géothermie 2010**

## Potentiel, recherche et développement de la géothermie. Avancement des projets d'importance dans le canton de Vaud et en Suisse romande

---

**Mandant:**

Office fédéral de l'énergie OFEN  
Programme de recherche xxx  
CH-3003 Berne  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Mandataire:**

Centre Romand de Promotion de la Géothermie - CRPG - [geothermie.ch](http://geothermie.ch)  
c/o PAC'info Sàrl,  
Rue Saint-Roch 36,  
1400 Yverdon-les-Bains  
[www.geothermie.ch](http://www.geothermie.ch)

**Auteurs:**

voir programme  
Organisation :  
André Freymond, [andre.freymond@geothermie.ch](mailto:andre.freymond@geothermie.ch)  
Stéphane Cattin, [stephane.cattin@geothermie.ch](mailto:stephane.cattin@geothermie.ch)

**Responsable de domaine de l'OFEN:** Gunter Siddiqi

**Chef de programme de l'OFEN:** Rudolf Minder

**Numéro du contrat et du projet de l'OFEN:** 500'522-01 / 500'522

Les auteurs de ce rapport portent seul la responsabilité de son contenu et de ses conclusions.

## Journée romande de la géothermie 2010

Potentiel, recherche et développement de la géothermie.

Avancement des projets d'importance dans le canton de Vaud et en Suisse romande

**Mardi 28 septembre 2010**

---

Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud - heig-vd  
Route de Cheseau 1 – 1400 Yverdon-les-Bains

### Sommaire documentation électronique

- Programme détaillé avec liens
- Documents présentés par les conférenciers

### Organisation

SSG-SVG-geothermie.ch - Centre romand de promotion de la géothermie – CRPG

André Freymond et Stéphane Cattin

c/o PAC'info sàrl – Rue St-Roch 36 – 1400 Yverdon-les-Bains

Tél. 024 425 22 83, fax : 024 426 02 12

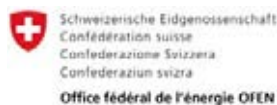
Emails : [andre.freymond@geothermie.ch](mailto:andre.freymond@geothermie.ch) et [stephane.cattin@geothermie.ch](mailto:stephane.cattin@geothermie.ch)

### Avec le soutien de

---



SEVEN  
Service de l'environnement  
et de l'énergie



## Programme détaillé

	Thématique traitée	Timing	Intervenant	Horaire
	<i>Accueil des participants – Café, croissants</i>	45'		08:45-09:30
<b>PDF</b>	1. Ouverture de la manifestation et Message de bienvenue du Directeur de la heig-VD	10'	A. Freymond et C. Kunze	09:30-09:40
<b>PDF</b>	2. Présentation et rôle du Swiss Geothermal Network – SGnet	10'	J.-F. Zürcher	09:40-09:50
<b>PDF</b>	3. Contributions actuelles de la géothermie dans le canton de Vaud et visions à long terme dans le bilan énergétique cantonal aux niveaux thermique et pourquoi pas électrique	20'	F. Schaller	09:50-10:10
<b>PDF</b>	4. Conditions d'implantation des ouvrages géothermiques dans le canton de Vaud et cadastre géologique	20'	M. Marrel	10:10-10:30
<b>PDF</b>	5. Le cadastre géothermique 3D du canton de Vaud – projet APOGEE. Un futur outil d'aide à la décision pour les installations géothermiques de basse enthalpie et Projet CCES Geotherm pour optimiser géologie et énergétique des systèmes profonds	20'	Prof. A. Parriaux	10:30-10:50
<b>Données non publiées</b>	6. La structure profonde du bassin lémanique et informations sur l'Atlas sismique du bassin molassique en Suisse à paraître	25'	Prof. F. Marillier	10:50-11:15
<b>PDF</b>	7. La norme SIA 384/6 – Sondes géothermiques	30'	J. Wilhelm	11:15-11:45
	<i>Repas de midi</i>			11:45-13:15
<b>PDF</b>	8. AGEPP 2011 – Le premier projet de géothermie profonde romand à l'aube du forage profond	30'	P. Vinard & G. Bianchetti	13:15-13:45
<b>PDF</b>	9. Programme cantonal de dév. de la géothermie à Neuchâtel et transfert de technologie pour les projets de géothermie profonde	30'	F.-D. Vuataz	13:45-14:15
<b>PDF</b>	10. Le projet "Géothermie profonde La Côte" (VD) Etat d'avancement du projet	30'	P. Vallat	14:15-14:45
<b>PDF</b>	11. Le forage de Noville-1 (VD) Géologie, hydrogéologie, géothermie, recherche de gaz naturel et état d'avancement du projet	30'	W. Leu	14:45-15:15
	<i>Pause café</i>			15:15-15:45
<b>PDF</b>	12. Le projet "Géothermie de moyenne profondeur à Thônex – MICA" (GE) Etat d'avancement du projet	30'	D. Sidler	15:45-16:15
<b>PDF</b>	13. Formation en géothermie proposée à l'Univ. de Neuchâtel et Méthodes d'exploration applicables dans des projets de géothermie profonde	30'	Prof. Eva Schill	16:15-16:45
	<i>Clôture de la manifestation – Apéritif</i>			16:45-17:45



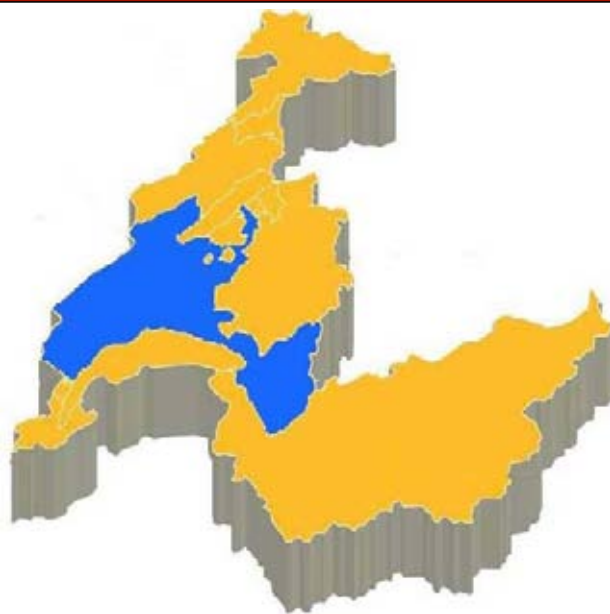
# heig-vd

Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion  
du Canton de Vaud

from knowledge to business

28.09.10

1



[www.heig-vd.ch](http://www.heig-vd.ch)

2

## Etudes Bachelor of sciences

- . Ingénierie
- . Economie



Cheseaux



St-Roch



Y-Parc

- . HEIG-VD: le plus grand campus de la HES-SO

from knowledge to business

## La HEIG c'est

<b>1522</b>	<b>étudiants-es bachelor</b>
<b>1</b>	<b>campus, 3 bâtiments</b>
<b>637</b>	<b>employé-es</b>
<b>66%</b>	<b>des étudiants du canton de Vaud</b>
<b>17%</b>	<b>étudiants étrangers</b>
<b>59</b>	<b>nationalités</b>
<b>68</b>	<b>millions de budget</b>
<b>15,7</b>	<b>millions de projets de Ra&amp;D</b>
<b>10</b>	<b>MAS &amp; CAS de formation continue</b>

from knowledge to business

## Notre vision et stratégie

- **From knowledge to business**
  - Mettre la connaissance en action

### From knowledge to business

heig-vd

////////////////////

Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud

<http://www.heig-vd.ch>

from knowledge to business

5



from knowledge to business



# Présentation et rôle du SGnet

Jean-François Zürcher Président

Journée romande de la géothermie  
2010

HEIG-VD

28 septembre 2010



## Historique (1/3)

- Fin 2004, création du Centre de Recherche En Géothermie (CREGE) à Neuchâtel
- Buts
  - Agir comme centre national de recherche et de formation
  - Conduire des programmes de recherche
  - Faire connaître les potentialités et applications
  - Renforcer la coordination et la coopération

## Historique (2/3)

- Indépendant de l'UNI de Neuchâtel, mais lié par convention au Centre d'hydrogéologie (CHYN)
- Membres: Institutions ou entreprises
- Equipe de recherche dirigée par F. Vuataz
- Montant annuel des mandats 300'000 à 500'000 CHF

## Historique (3/3)

- Principales réalisations:
  - Plusieurs analyses de potentiels géothermiques
  - Elaboration du programme national de recherche PROGEOTHERM
  - Etudes spécifiques pour des projets tant en Suisse qu'à l'étranger
  - Réalisation d'une maquette didactique multimédia

## 2009 Année charnière

- Création d'un *Laboratoire de géothermie* à l'Uni Neuchâtel qui regroupe toutes les activités de recherche, de formation et de transfert technologique
- L'association CREGE modifie ses statuts et devient ***Le Réseau Suisse de Géothermie – SGnet***
- Création de la *Geothermal Investment Center Sàrl (GIC)*

## Buts du SGnet

- Etablir un réseau de compétence
- Etre le partenaire du *Laboratoire de géothermie* (transfert de technologie)
- Soutenir les programmes de recherche et de développement
- Renforcer la coordination et la coopération
- Etre un des membres fondateurs de la *Geothermal Investment Center Sàrl (GIC)*

## Prestations pour les membres

### (1/2)

- Les membres de l'Association **SGnet** sont tenus informés des travaux menés par le *Laboratoire Suisse de Géothermie*, reçoivent le rapport annuel d'activités et ont un accès privilégié à la documentation de celui-ci.
- Ils peuvent être associés, sous certaines conditions, aux travaux du *Laboratoire*, plus particulièrement dans le domaine du transfert technologique.

## Prestations pour les membres

### (2/2)

- A la fin du mois de novembre, un accès «Extranet» réservé aux membres, permettra un échange étroit d'informations entre eux, respectivement avec le *Laboratoire de Géothermie*.

## Engagement des membres

- En fonction de leurs activités:
- A conseiller le *Laboratoire Suisse de Géothermie*.
- A faire participer, le cas échéant, celui-ci à leurs projets de recherche et/ou de développement.
- A appuyer le *Geothermal Investment Center Sàrl (GIC)*, dans ses recherches de financement.

## La géothermie profonde

- Est une source d'énergie renouvelable importante pour notre indépendance énergétique future
- Doit encore faire l'objet de recherche
  - pour accroître de la connaissance de notre sous-sol afin de limiter les risques
  - Pour améliorer les technologies de forage, d'échange et de valorisation de l'énergie thermique obtenue.
- Nécessite de regrouper et coordonner nos forces afin que son usage se généralise dans





# L'association SGnet

Constituée aujourd'hui de 59 membres, joue un

rôle essentiel de courroie de transmission et de

coordination entre le *Laboratoire Suisse de Géothermie* et

- les institutions publiques et parapubliques
- Les bureaux d'ingénieurs spécialisés
- Les entreprises énergétiques



N'hésitez pas à visiter notre site  
[www.sgnet.ch](http://www.sgnet.ch)

Merci de votre attention

Jean-François Zürcher  
Président du SGnet

# Contributions de la géothermie dans le canton de Vaud



François Schaller  
Ingénieur

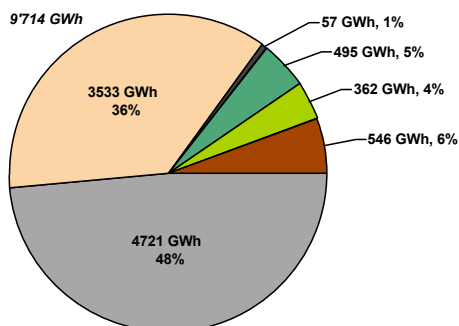
## Les perspectives énergétiques

HALTE À LA POLLUTION  
TERRE EN FUSION



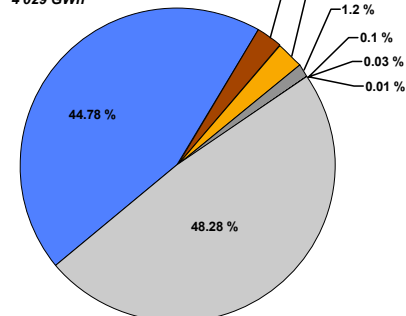
## Bilan de la consommation cantonale d'énergie

**Combustibles**  
Consommation totale 2008 :



- Combustibles pétroliers
- Gaz
- Charbon
- Bois
- Chaleur à distance
- Déchets

**Electricité**  
Consommation totale 2008 :



- Hydraulique
- Déchets
- Nucléaire
- Fossile
- Eolienne
- Solaire
- Biomasse
- Autres agents non vérifiables

La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010

## Production d'énergie réalisée dans le canton

Chaleur	GWh	Electricité	GWh
Bois	274	Gaz	16
Déchets et rejets thermiques	273	Eolien	0
PAC (pompe à chaleur, part tirée de l'environnement)	203	Hydraulique	893
Géothermie profonde	17	Géothermie profonde	0
Solaire thermique	8	Solaire photovoltaïque	1
Biomasse (autre que le bois)	0	Biomasse (autre que le bois)	66
STEP (Vidy)	19	Déchets	6
<b>TOTAL</b>	<b>794</b>	<b>TOTAL</b>	<b>982</b>

Perspectives énergétiques pour Vaud en 2035 (Weinmann-Energies, février 2010)

La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010

## Potentiel géothermique VD

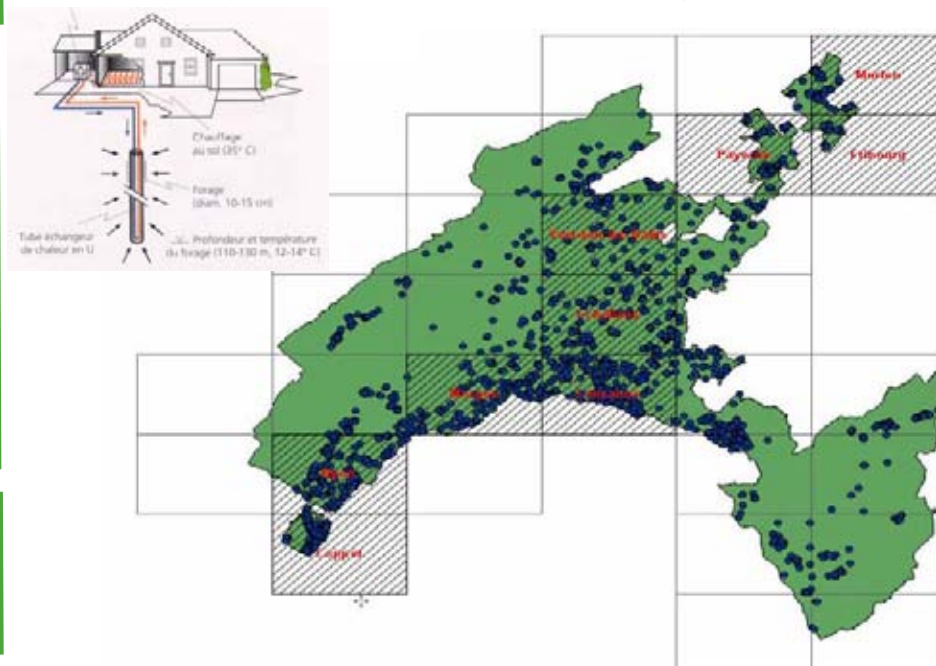


La géothermie dans le canton de Vaud



Yverdon, le 28 septembre 2010

## Ressources géothermiques de basse énergie

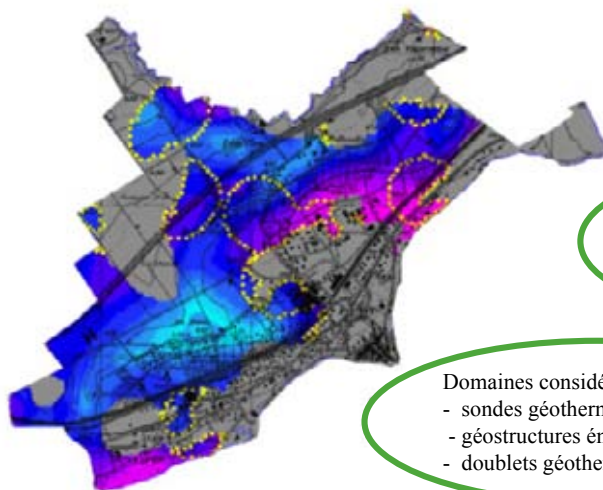


La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010

## Objectifs du cadastre géothermique:

- Aide à la conception de projets et à la planification (choix énergétique approprié)
- Faciliter les procédures d'autorisation
- Promotion des énergies renouvelables



Public cible:

- planificateurs
- particuliers
- services publics

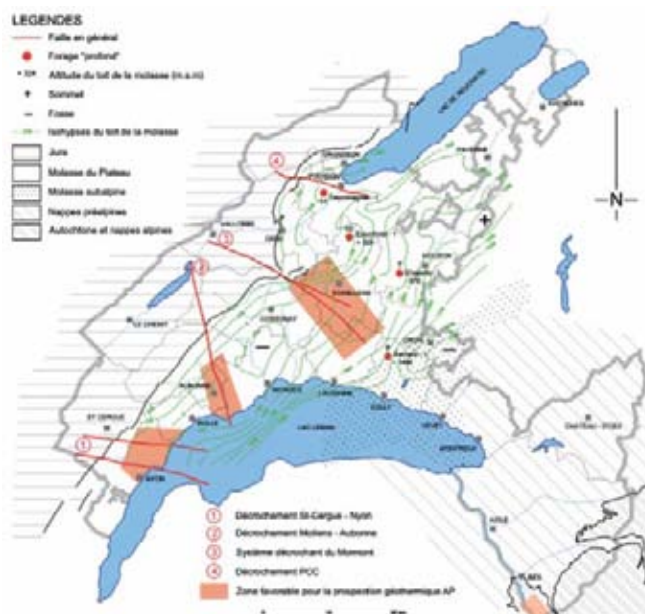
Domaines considérés:

- sondes géothermiques
- géostructures énergétiques
- doublets géothermiques

La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010

## Aquifères profonds



Zones favorables  
à la prospection  
d'aquifères profonds

La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010



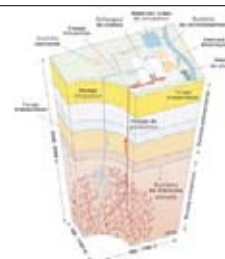
## Potentiel théorique des aquifères profonds

			AQUIFERE DU MALM				AQUIFERE DU DOGGER				
			Epaiss. totale de la série: 500 m				Epaiss. totale de la série: 300 m				
			Epaiss. cumulé aquifère: 370 m				Epaiss. cumulé aquifère: 120 m				
			Débit estimé : 20 l/s				Débit estimé : 10 l/s				
Localité	Habitants	Gradient (°C/km)	Profond. moy. (m)	Temp. moy. (°C)	Potentiel (MWth)	Profond. forage (m)	Profond. moy. (m)	Temp. moy. (°C)	Potentiel (MWth)	Profond. forage (m)	Potentiel total
Nyon ou Gland	8'200 5'000	33	850	38	2.3	1'000	1'850	71	2.8	2'000	4.9 MWth
Aubonne ou Etoy	1'350	35	750	36	2.2	900	1'550	64	2.3	1'700	4.5 MWth
Echallens	2'250	35	1'100	49	3.2	1'250	2'050	82	3.0	2'200	6.2 MWth
Eclépens + La Sarraz	1'350	35	400	24	1.2	550	1'250	54	1.8	1'400	3.0 MWth
Morges	7'300	35	1'050	47	3.1	1'200	2'150	85	3.1	2'300	8.2 MWth
Cossonay + Penthaz	2'500	35	900	42	2.6	1'050	1'750	71	2.6	1'900	5.2 MWth
Payeme	3'600	30	1'060	66	4.7	2'010	2'200	76	2.8	2'350	7.4 MWth
Ecublens (EPFL)	4'650	29	1'650	58	4.0	1'800	2'200	74	2.7	2'350	6.7 MWth
Moudon	2'200	34	1'500	61	4.3	1'650	2'550	97	3.6	2'700	7.9 MWth

La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010

## Systèmes géothermiques stimulés (SGS)



Zones urbaines potentielles	Flux de chaleur	Proximité du socle	Potentiel de consommateurs de chaleur	Classement des zones urbaines <sup>1</sup>
Yverdon-les-Bains	3	3	2	8
Orbe	3	3	1	7
Région Lausanne	2	1	3	6
Montreux	2	2	2	6
Morges	2	1	2	5
Moudon	2	2	1	5
Payeme	2	2	1	5
Vevey	2	1	2	5
Nyon	1	1	2	4

<sup>1</sup> Classement des zones urbaines : somme des points attribués aux trois critères.

La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010



## Perspectives énergétiques



La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010

## Objectifs énergétiques

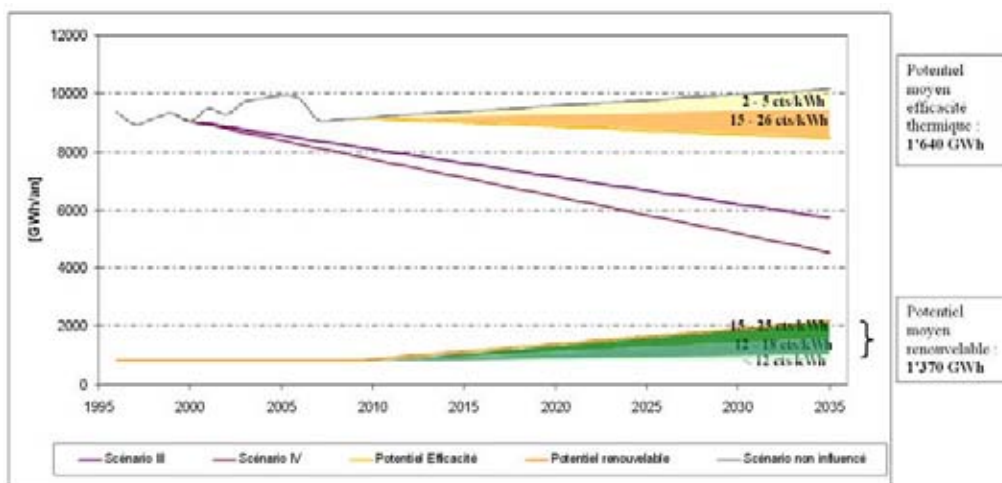
- Programme de législation:
  - Réduction des émissions de CO<sub>2</sub> de 1,5 millions de tonnes d'ici 2035
- Perspectives énergétiques 2035:
  - Scénario III: réduction de CO<sub>2</sub> de 35%, soit env. 1,5 millions de tonnes pour VD
  - Scénario IV: réduction de CO<sub>2</sub> de 41 à 49%, société à 2000 Watts

	Situation 2000 [GWh]	Situation 2008 [GWh]	Scénario non influencé 2035 [GWh]	Scénario III 2035 [GWh]	Scénario IV 2035 [GWh]
<b>Energie finale</b>	<b>17'600</b>	<b>19'300</b>	<b>23'800</b>	<b>15'100</b>	<b>12'800</b>
Combustibles	9'000	9'700	10'200	5'700	4'500
Carburants	5'100	5'600	7'700	3'500	2'800
Electricité	3'500	4'000	5'800	3'900	3'400

La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010

## Effet des mesures dans le domaine des combustibles



Perspectives énergétiques pour Vaud en 2035 (Weinmann-Energies, février 2010)

La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010

## Potentiel de développement des énergies indigènes

Mesures de production d'énergie thermique			
	Coût moyen [mios Frs]	Potentiel Moyen [GWh/an]	Coût de l'énergie [Fr/kWh]
Chauffage de quartier et chaudières individuelles à bois	530	120	0.22
Couplage chaleur force à partir du biogaz	430	195	0.11
STEP et Rejets thermiques	à définir	à définir	
Pompes à chaleur en remplacement des chauffages électriques	1495	440 (32%)	0.17
Solaire thermique	1880	475	0.20
Géothermie profonde	670	150 (11%)	0.15
<b>Total des mesures</b>	<b>3510</b>	<b>1380 (100%)</b>	

Perspectives énergétiques pour Vaud en 2035 (Weinmann-Energies, février 2010)

La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010



**Merci de votre attention**

Service de l'environnement  
et de l'énergie



Centrale  
géothermique  
en Islande

*La géothermie dans le canton de Vaud*

*Yverdon, le 28 septembre 2010*

# Conditions d'implantation des ouvrages géothermiques dans le canton de Vaud et cadastre géologique

Michel Marrel  
Hydrogéologue cantonal

Service des Eaux, Sols et Assainissement (SESA)  
Division Eaux Souterraines  
Canton de Vaud

## PAC – Protection des eaux souterraines

BASES  
LEGALES

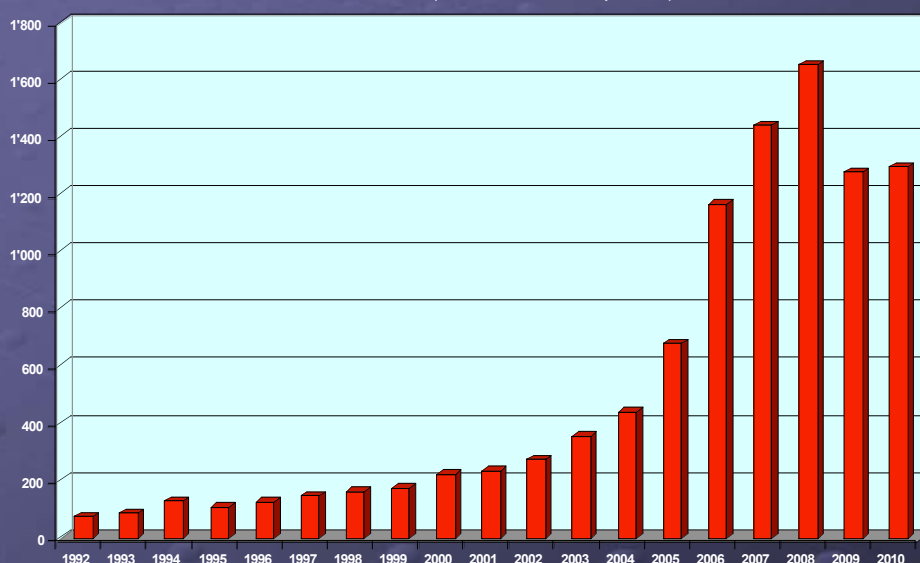
ZONES, SECTEURS  
DE PROTECTION

PROCEDURE,  
AUTORISATIONS

GEOLOGIE,  
AQUIFERES

FORAGES /  
RISQUES

Evolution des demandes PAC (autorisations et demandes préalables)



**BASES  
LEGALES**

**ZONES, SECTEURS  
DE PROTECTION**

**PROCEDURE,  
AUTORISATIONS**

**GEOLOGIE,  
AQUIFERES**

**FORAGES /  
RISQUES**

- **Loi fédérale** sur la protection des eaux (LPEP du 8.10.71, mod. le 24.01.91 = LEaux)
- **Ordonnance fédérale** sur la protection des eaux (OEaux du 28.10.98)
- **Instructions pratiques** pour la protection des eaux souterraines (OFEV 2004) page 66, exploitation de l'énergie du sol et du sous-sol
- **Directives** OFEV: Exploitation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol (2009)
- **Norme SIA** 384/6: Sondes géothermiques (2009)

**BASES  
LEGALES**

**ZONES, SECTEURS  
DE PROTECTION**

**PROCEDURE,  
AUTORISATIONS**

**GEOLOGIE,  
AQUIFERES**

**FORAGES /  
RISQUES**

- **Loi cantonale** sur la protection des eaux contre la pollution (17.09.1974)
- **Règlement sur l'utilisation des pompes à chaleur** du 26.05.1999 (modifiant celui du 25.08.1982)
- **Loi réglant l'occupation et l'exploitation des eaux souterraines** dépendant du domaine public cantonal (12.05.1948)



- **Loi fédérale** sur la protection des eaux (LEaux)
  - **Art.43**

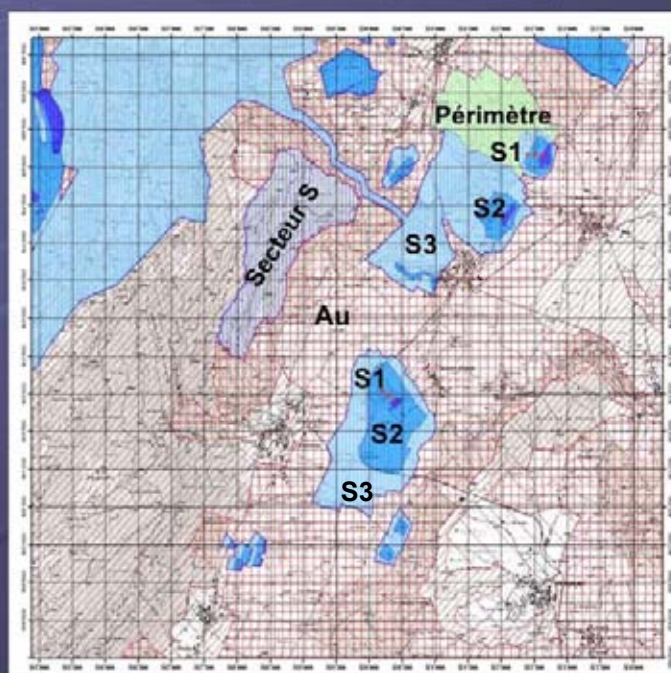
<sup>3</sup>La création de communications permanentes entre des nappes souterraines est interdite si une telle intervention peut **diminuer les réserves en eaux souterraines ou altérer leur qualité** (24.01.1991)

### Carte 1:25'000

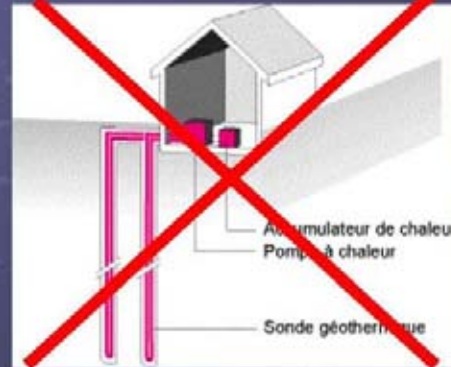
Zones et secteurs de protection des eaux

#### Légende

Secteurs	A	
Secteurs	B	
Secteurs	C	
Secteurs	S	
Zones	S1	
Zones	S2	
Zones	S3	
Périmètres	PP	



- **Zones S1, S2 et S3:**  
Les forages pour sondes verticales ou pour les pompages à la nappe sont **interdits**.
- **Zone S3:**  
Sont autorisés uniquement les collecteurs **horizontaux** contenant des liquides caloporteurs dans les circuits souterrains.



- **Evaluation d'un projet de forage:**
  - Hydrogéologie, aquifères et captages d'intérêt public
  - Géologie (profondeur forée admissible)
  - Sources privées
  - Glissements de terrain
  - Sites pollués



BASES  
LEGALES

ZONES, SECTEURS  
DE PROTECTION

PROCEDURE,  
AUTORISATIONS

GEOLOGIE,  
AQUIFERES

FORAGES /  
RISQUES

## • Unités tectoniques de la Suisse



BASES  
LEGALES

ZONES, SECTEURS  
DE PROTECTION

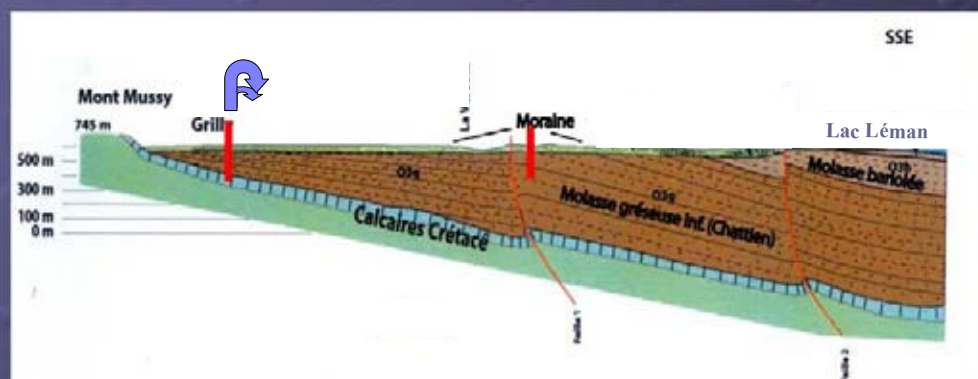
PROCEDURE,  
AUTORISATIONS

GEOLOGIE,  
AQUIFERES

FORAGES /  
RISQUES

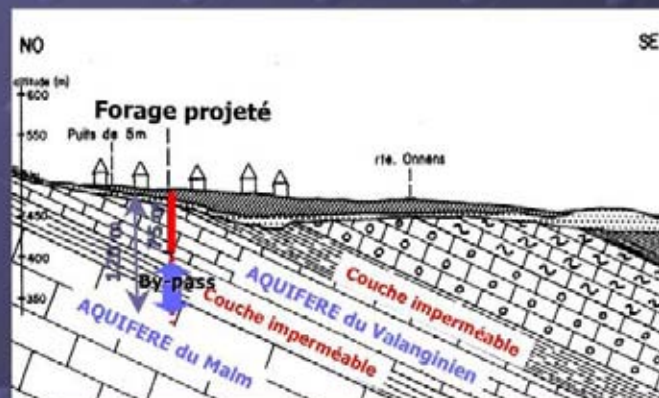
## • Forage dans la **molasse**:

- Perforation des calcaires -> eau sous pression, artésianisme ?
- Profondeur des forages limitée à la molasse



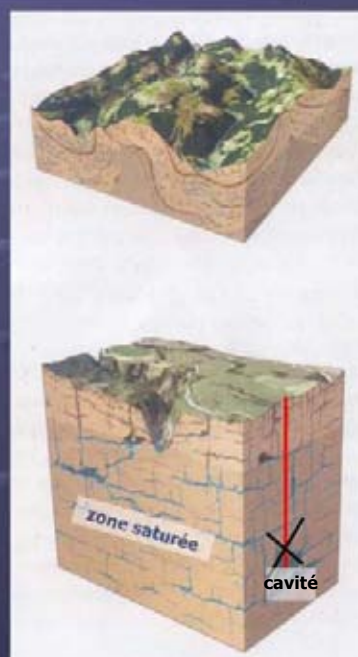
● Forage dans les **calcaires**:

- **forage de 120m ?** mise en relation d'aquifères, préavis NEGATIF
- **forage de 75m ?** couche imperméable non perforée entièrement, projet admissible



● Aquifère en **roches calcaires (karst)**:

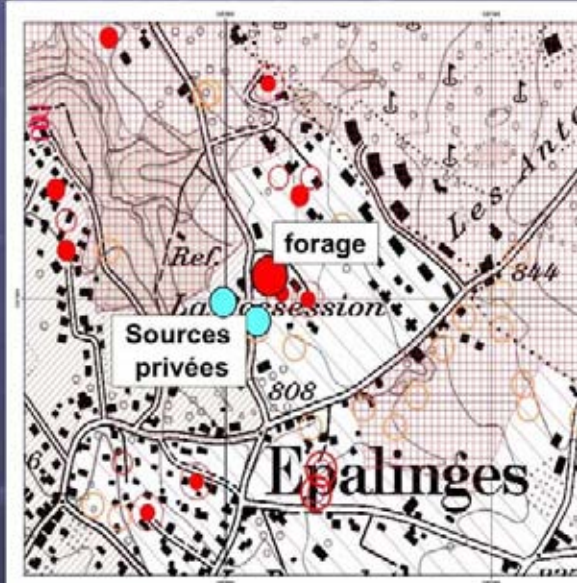
- gouffres, dolines et sources
- complications fréquentes lors des travaux de forage si cavités ou fissures
- gradient géothermique inférieur à la moyenne





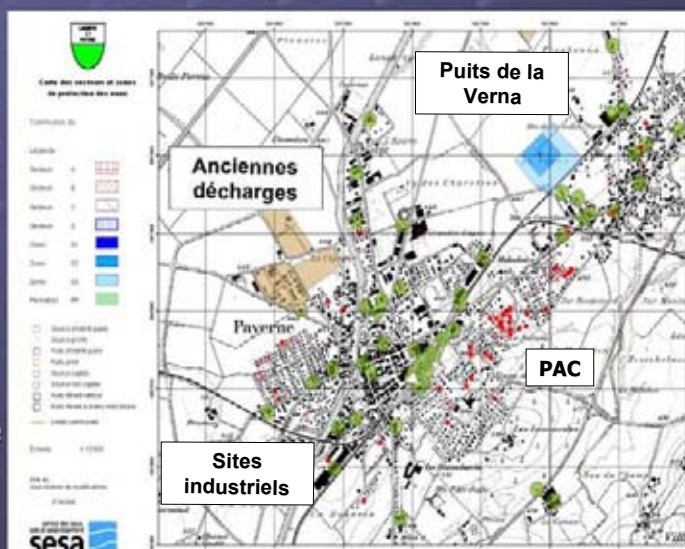
● **Captages privés** (environ 15'000 sources et puits répertoriés dans le canton)

- risque d'interférence hydraulique
- altération de la qualité de l'eau captée
- baisse de débit
- > avis hydrogéologique de faisabilité
- > surveillance hydrogéologique des travaux de forages



● **Forage dans un site pollué**

- Anciennes décharges
- Sites industriels
- Risques d'introduction de substances polluantes en profondeur
- > interdiction de forer ou
- > évacuation conforme des terrains et boues de forage, tubages, etc...







BASES  
LEGALES

ZONES, SECTEURS  
DE PROTECTION

PROCEDURE,  
AUTORISATIONS

GEOLOGIE,  
AQUIFERES

FORAGES /  
RISQUES

- **Procédure d'autorisation de forer**
  - Demande préalable
  - Autorisation cantonale
  - Annonce de forage (loi cadastre géologique)

**Cadastre géologique  
du canton de Vaud**

- **Effondrement** de février 2005 dans le quartier **de Saint-Laurent** à Lausanne, lors des travaux de percement du m2.
- Besoin de disposer d'un **cadastre centralisé** contenant toutes les informations sur le sous-sol.
- Conserver la mémoire du sous-sol (**sauvegarde** systématique des **données géologiques**).



Lausanne, M2  
subway tunnel  
(under construction)  
collapse, 2005



Sao Paulo, subway tunnel (under construction) collapse, 2007



Hangzhou, subway  
tunnel (under  
construction)  
collapse, november  
2008

- Jette les bases institutionnelles pour la création d'un véritable cadastre géologique vaudois réunissant systématiquement les informations géologiques de base.
- Obligation de transmettre à l'autorité cantonale les informations issues de toute opération de sondage (assurer l'exhaustivité de l'information).
- Permet la diffusion publique des résultats de sondage (exception: données liées à des enjeux économiques ou commerciaux → statut de confidentialité).

Adopté le 06.11.2007, entrée en vigueur le 01.07.2008 - Etat au 01.07.2008 (en vigueur)	
LOI sur le cadastre géologique (LCG)	211.65
du 6 novembre 2007	

**Question 1** (1 point)  
Which of the following is a characteristic of a good research question?  
a. It is broad and general.  
b. It is specific and focused.  
c. It is based on a hunch or intuition.  
d. It is based on a personal interest.  
Correct Answer: b. It is specific and focused.

**Question 2** (1 point)  
Which of the following is a characteristic of a good research question?  
a. It is based on a personal interest.  
b. It is based on a hunch or intuition.  
c. It is broad and general.  
d. It is specific and focused.  
Correct Answer: d. It is specific and focused.

**Question 3** (1 point)  
Which of the following is a characteristic of a good research question?  
a. It is based on a hunch or intuition.  
b. It is based on a personal interest.  
c. It is broad and general.  
d. It is specific and focused.  
Correct Answer: d. It is specific and focused.

**Question 4** (1 point)  
Which of the following is a characteristic of a good research question?  
a. It is based on a personal interest.  
b. It is based on a hunch or intuition.  
c. It is broad and general.  
d. It is specific and focused.  
Correct Answer: d. It is specific and focused.

**Question 5** (1 point)  
Which of the following is a characteristic of a good research question?  
a. It is based on a hunch or intuition.  
b. It is based on a personal interest.  
c. It is broad and general.  
d. It is specific and focused.  
Correct Answer: d. It is specific and focused.



- Outil informatique basé sur le **concept de « cyberadministration »** (outil Internet/Intranet accessible à travers la toile) et constitué de composants « Open Source » libres de tout droit ou de licence.
- Les **partenaires** y accèdent moyennant un **compte sécurisé**.
- **L'administration met à disposition** l'outil informatique, gère la base de données, le processus de collecte via Internet, la qualité des données.
- Les **bureaux privés saisissent les données** à travers un formulaire Internet (standards d'échanges). Les bureaux peuvent utiliser l'outil pour leurs propres besoins.



« Homepage »

# Cadastre géologique – L'outil informatique

Une partie tout public

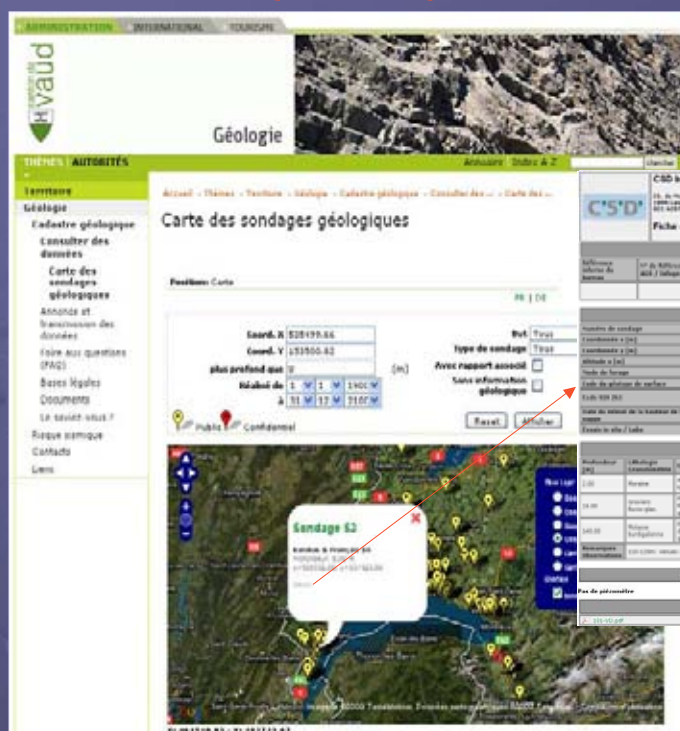


Différentes possibilités de tri des données

Une application bilingue (Français – Allemand) (développements en cours)

# Cadastre géologique – L'outil informatique

Une partie tout public



Documents originaux en PDF

Données structurées

The screenshot shows the 'Géologie' website interface. On the left, there's a navigation menu with 'Géologie' and 'Annonce/transmission des données'. The main content area is titled 'Annonce/transmission des données' and contains text about data availability and a link to 'Accès à l'application des données géologiques', which is highlighted with a red box. A red arrow points from this link to the 'Accès écarté' section on the right. The 'Accès écarté' section contains a 'Compte utilisateur' field, a 'Mot de passe' field, and a 'Login' button. Below these fields, it says 'Mot de passe oublié ?'.



The image displays three overlapping screenshots of the 'Sédatat' software interface, which is used for geological data entry. The top-left window shows the 'Ajout d'une zone' form, with the 'zone' field highlighted. The middle window shows the 'Ajout d'un sondage' form, with the 'sondage' field highlighted. The bottom-right window shows the 'Ajout d'un horizon' form, with the 'horizon' field highlighted. The text 'Une base de données construite sur plusieurs niveaux: ZONE --> SONDAGE --> HORIZON' is overlaid in red on the right side of the screenshots.

## Cadastre géologique - Quelques caractéristiques de l'outil

- Interface cartographique simple et possibilités de recherche simple par date, coordonnées, profondeur, etc ...
- Fiches de sondage pouvant être "personnalisées" avec le logo du bureau qui renseigne l'application.
- Certains champs sont obligatoires, alors que d'autres sont facultatifs.

## Cadastre géologique – Le contenu de la base de données

**CSD Ingénieurs Conseils SA**  
Ch. de Houdelley 78, CP 68  
1000 Lausanne  
021 6207096

**Fiche de sondage**

**La fiche de sondage**

Zone de sondage					
référence interne du bureau	N° de Référence AGS / Intégré	Auteur	Type de sondage	Descriptif	But
		Ingrès Schmidt Georges	Forage	Relève de pompe à chaleur (PAC)	Géothermique

Sondage			
Numéro de sondage	718	Bif. interne	53
Coordonnée x (m)	548350.00	Date de réalisation	12.12.2005
Coordonnée y (m)	158990.00	Profondeur (m)	140.00
Altitude x (m)	765.00	Diamètre (mm)	
Niveau de forage	Destructif	Angle du forage [°]	90.0
Couche du géotype de surface	Moraine, de fond	Altitude du forage [°]	0.0
Couche NIA 261	S - Couche alluviale superficielle	Hauteur de la nappe (m)	
Date du relevé de la hauteur de la nappe		Profondeur toit du rocher (m)	16.00
Essai in situ / Labo	Non		

Horizons du sondage					
Profondeur (m)	Lithologie	Géotype	Code UNCS	AN	Lithologie (Atlas Géologique 1:25'000)
2.00	Moraine	Moraine, de fond		6.70000	M36 - Terrains meubles - Sédiments glaciaires - Moraine
16.00	Graviers, Rivier-glac.	Béglacière, Rivier-glac.			M69 - Terrains meubles - Sédiments fluviaux - Sédiments fluvio-glaciaires
140.00	Molasse jurassienne	Roches détritiques, grès			S13 - Roches sédimentaires - Sédim. clastique - grès (arénite: classe des sables) - à comp. quartziques, à ciment argileux
Remarques Observations: 110-120m: venant d'eau					

Piézomètre du sondage	
Pas de piézomètre	

Documents associés	
100-4010.pdf	

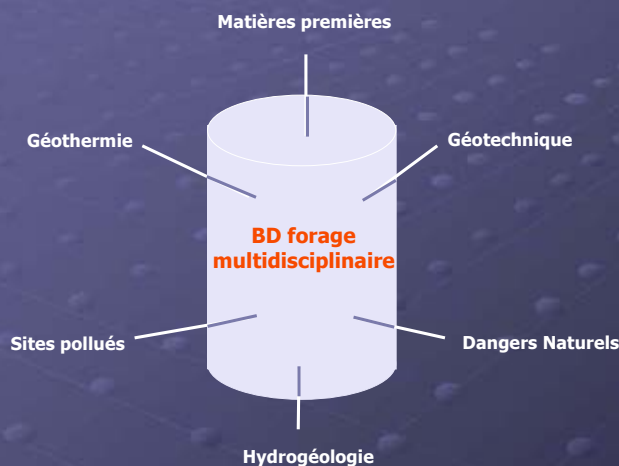
Liée avec les archives géologiques suisses (AGS)

Informations hydrogéologiques

Profondeur du toit du rocher

Standardisation à choix des différents horizons

## Cadastre géologique – Le contenu de la base de données





***Merci de votre attention ...***

*Journée romande de la géothermie, le 28.09.2010*

- Journée romande de la géothermie 2010 - mardi 28.09.2010
- *Potentiel, recherche et développement de la géothermie, ainsi qu'état d'avancement des projets d'importance dans le canton de Vaud et en Suisse*

- Le cadastre géothermique 3D du canton de Vaud – projet APOGEE. Un futur outil d'aide à la décision pour les installations géothermiques de basse enthalpie.
- Projet CCES Geotherm pour optimiser géologie et énergétique des systèmes profonds

• Aurèle Parriaux, Thomas Jolimet, Julien Zigliani



• Laboratoire de géologie de l'ingénieur et de l'environnement de l'EPFL - GEOLEP



## **Projet APOGEE = Atlas du POtentiel GEothermique très basse Energie - VD**

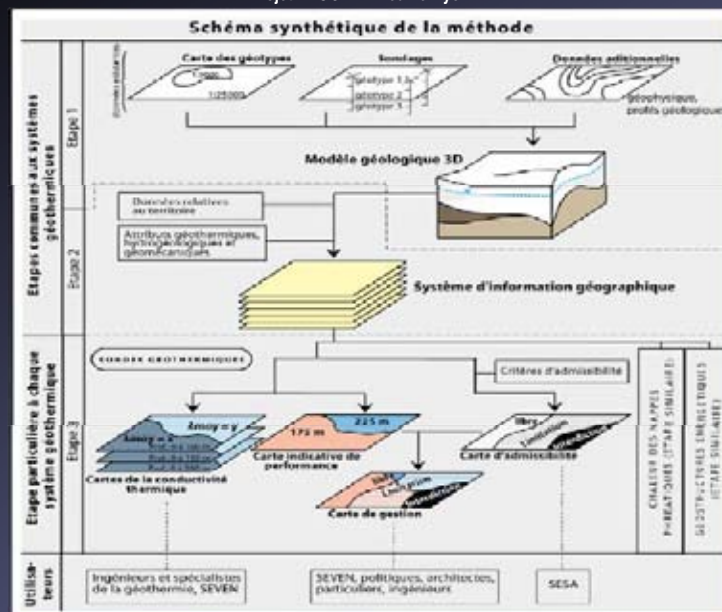
**Phase pilote sur la Feuille 1261 – Nyon**

## Problématique:

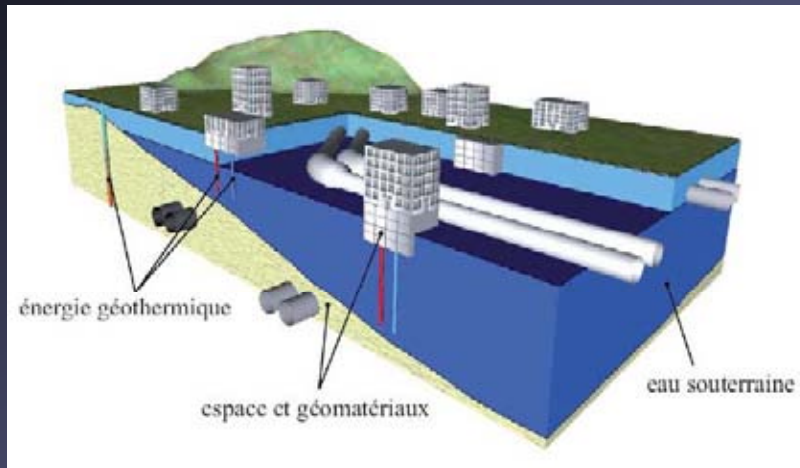
Comment déterminer des caractéristiques géothermiques en profondeur (environ 300m) et des règles d'admissibilité sur l'entier d'un territoire à partir de l'information géologique disponible?

## Solution :

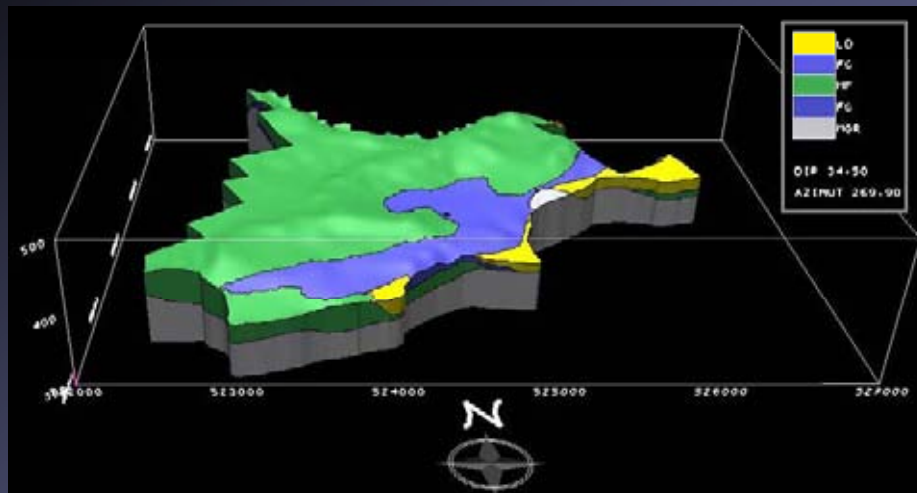
Par le développement d'un modèle géologique 3D et une table attributaire de paramètres selon les géotypes.



**Acceptabilité de la géothermie :  
Concept Deep City : les 4 ressources principales du sous-sol  
urbain**



Démonstration de la méthodologie faite sur une commune  
•Modèle 3D en géotypes. Commune de St-Prex



- Méthodologie applicable à une feuille au 1/25'000 entière ?
- Démonstration à faire sur la feuille Nyon :
  - - Quaternaire complexe
  - - Jura plissé
- => Test de robustesse de la méthodologie
- Test des outils (géomodeleur, SIG, temps de calcul)
- Test de faisabilité financière

- I. Création du modèle : spatialiser l'information...
  - I.1 Les coupes géologiques
  - I.2 Une nouvelle image du toit de la Molasse
  - I.3 Cartes structurales simplifiées
  - I.4 Modèle Géologique
- II. Application à la géothermie

### I.1 Spatialiser l'information par... des coupes géologiques !

Information géologique disponible :

Cadastre géologique

Carte géologique 1:25000<sup>e</sup>

Données de mandats

MNT

Toit du rocher – Fiore, 2007

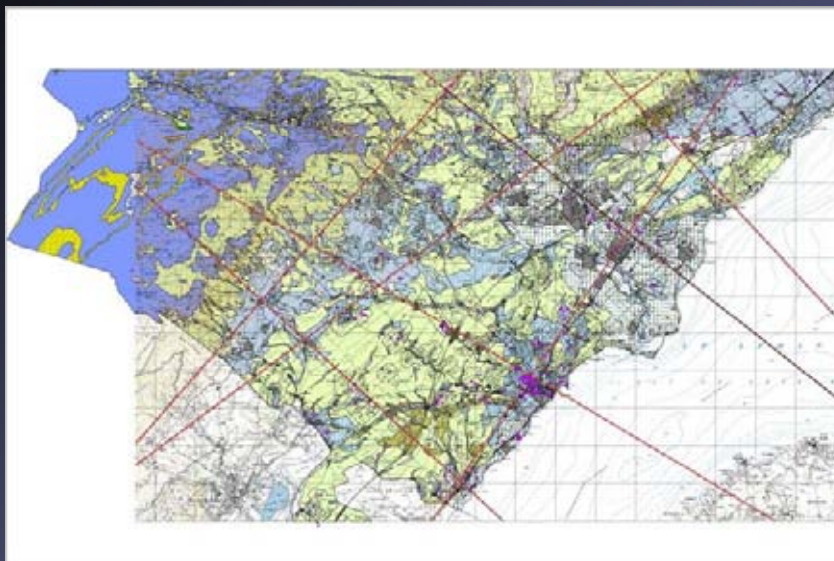


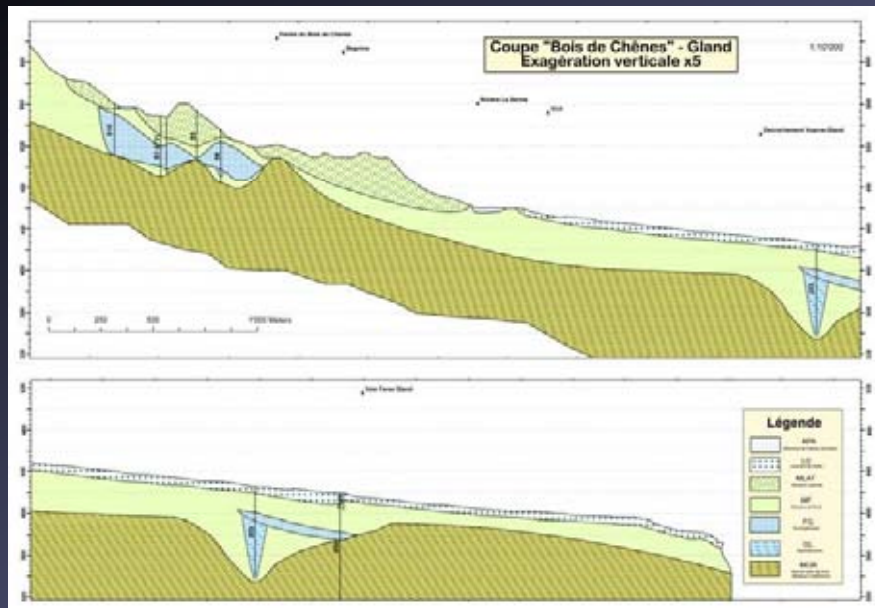
Géolocalisation des différents contacts géologiques (ex: Coupes ou informations de sondages)

Export des points (X, Y, Z) pour chaque géotype

Modèle Géologique 3D:

### I.1 Spatialiser l'information par... des coupes géologiques !

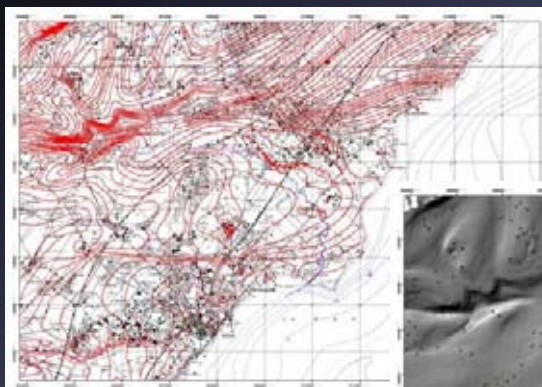




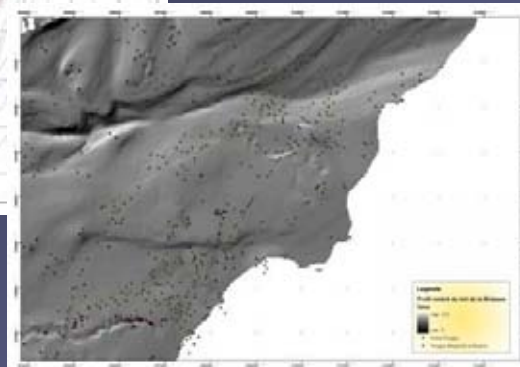
Aurèle Parriaux & Thomas Jolimet – EPFL Geolep

11

## I. 2 Une nouvelle image du toit de la Molasse – Travail effectués par M Weidmann



Toit Ombré de la Molasse



Aurèle Parriaux & Thomas Jolimet – EPFL Geolep

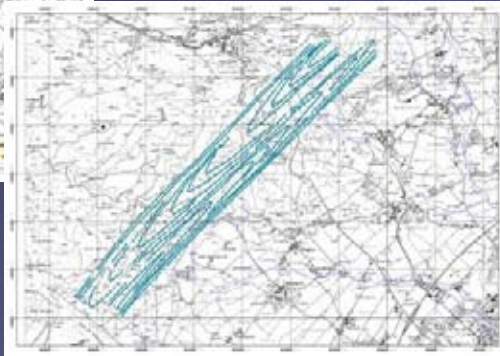
12



### I. 3 Cartes structurales simplifiées

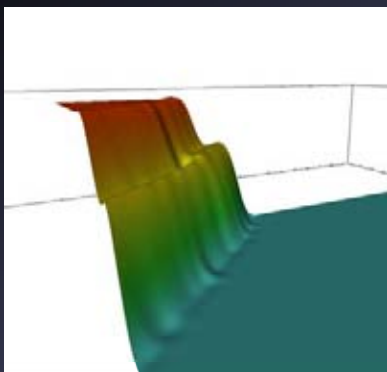


Altitude Toit Purbeckien entre  
les 2 complexes de failles

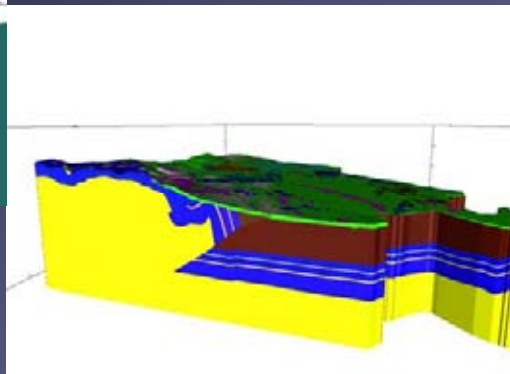


Altitude Toit Complexe Récifal -  
Kimmeridgien

### I. 3 Cartes structurales simplifiées

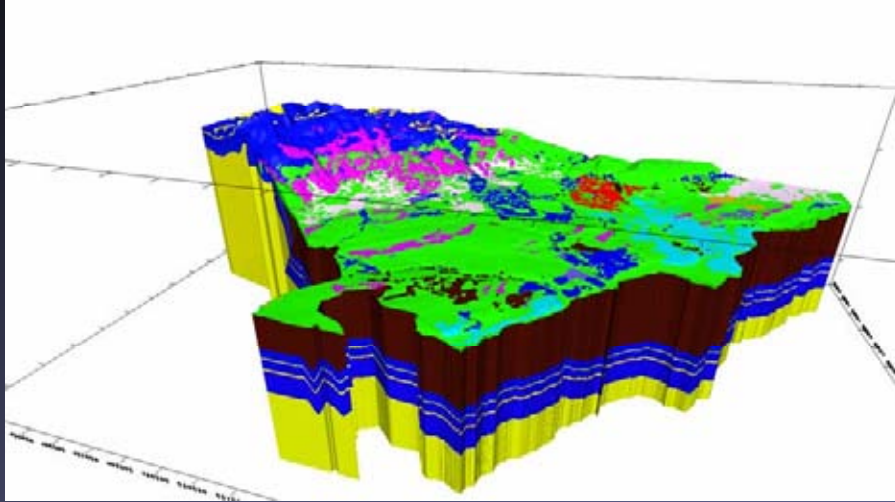


De la surface brute à la  
structure calculée





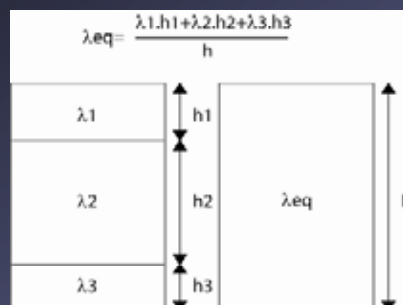
## I. 4 Modèle Géologique



Aurèle Parriaux & Thomas Jolimet – EPFL Geolep

15

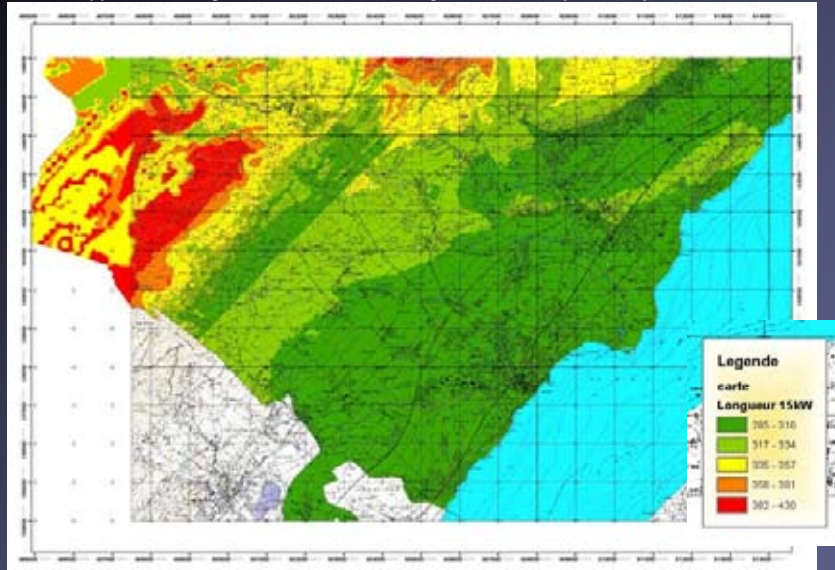
## II. Application à la géothermie : Principes de Calcul de la conductibilité thermique équivalente



Aurèle Parriaux & Thomas Jolimet – EPFL Geolep

16

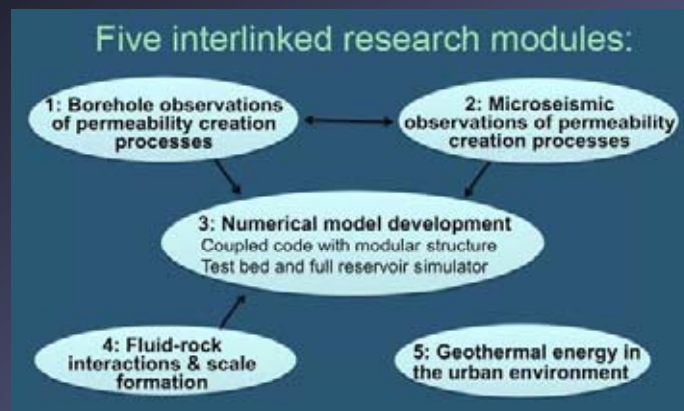
II. Application à la géothermie : Calcul de longueur de sonde pour une puissance de 15kW



Aurèle Parriaux & Thomas Jolimet – EPFL Geolep

17

- CCES = Competence Center Environment and Sustainability
- GEOTHERM Project : Geothermal Reservoir Processes: Research towards the creation and sustainable use of Enhanced Geothermal System



Aurèle Parriaux & Thomas Jolimet – EPFL Geolep

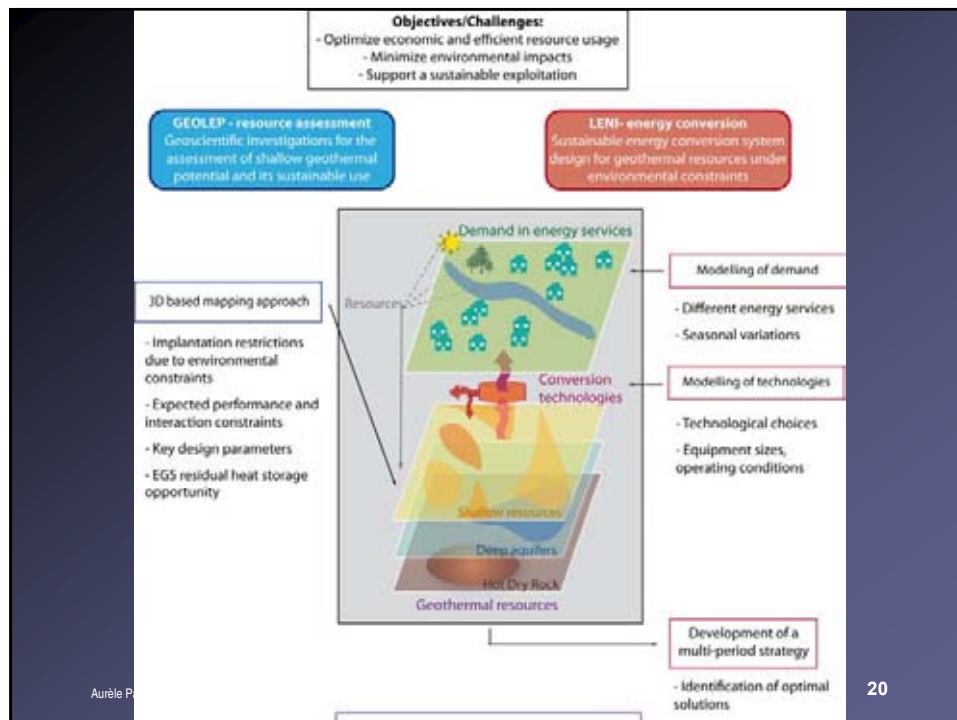
18

## •But résumé :

•Etant donné une coupe géologique prévue au droit d'un projet, comment optimiser l'usage des différents volumes géologiques disponibles pour la production d'énergie géothermique et le stockage géologique de chaleur (la "PPE géologique" au service d'une optimisation énergétique).

## •Nécessaire :

- Géométrie du corps géologique jusqu'à 5000m (pour EGS)
- Table de paramètres prévisibles par étage : température, conductivité thermique, conductivité hydraulique, géochimie des eaux ...



## Norme SIA 384/6 - janvier 2010

- > **Domaine d'application**
- > **Terminologie**
- > **Etude du projet**
- > **Calcul et dimensionnement**
- > **Exigences posées aux matériaux de construction et à la construction**
- > **Exécution**
- > **Contrôle**
- > **Exploitation et entretien**
- > **Annexes importantes** – normatif / informatif !



Il n'y a pas de règle générale applicable pour le dimensionnement d'une et – à plus forte raison encore – d'un champ de sondes géothermiques

~~35 ... 40 ... 45 ... 50 W/m ?!~~

Le dimensionnement doit tenir compte :

- De la géologie locale → p.ex: Conductibilité thermique du sous-sol
- Du climat local → p.ex: Température, temps de fonctionnement
- Du mode d'exploitation → p.ex: Chauffage, eau sanitaire, piscine, chauffage + rafraîchissement
- De la géométrie des sondes → p.ex: diamètre 32 mm, 40 mm, 50 mm, profondeur, écartement

## La norme SIA 384/6 – Sondes géothermiques

*Par Jules Wilhelm, Ingénieur-conseil, Président de la Commission de norme SIA 384/6 concernant les sondes géothermiques, Responsable du module Assurance qualité / Normes géothermiques du programme SuisseEnergie et Ancien président de la Société Suisse pour la Géothermie.*

Ingénieur-conseil, Pully

Les sondes géothermiques ont connu un développement fulgurant en Suisse au cours des 10 dernières années. Entre 2000 et 2010, la longueur totale de sondes réalisées annuellement a passé de l'ordre de 300'000 à plus de 2'000'000 de mètres, soit une augmentation moyenne de 170'000 mètres par an. Entre 2005 et 2010 l'accroissement a même atteint 200'000 mètres par an. La quantité d'énergie produite a suivi une progression similaire et représente aujourd'hui 75% de la production géothermique totale du pays.

La taille et la complexité des installations sont elles aussi en constante augmentation. La longueur courante d'un forage a triplée. Des champs de plusieurs dizaines de sondes alimentent des bâtiments ou des ensembles de bâtiments toujours plus vastes pour le chauffage, le refroidissement et la production d'eau chaude sanitaire. De plus en plus, la ressource géothermique s'associe à d'autres énergies nouvelles, comme le solaire ou la biomasse.

Devant cette évolution il est devenu impératif de codifier les règles de concept et de réalisation des sondes géothermiques et donner aux professionnels un outil de référence applicable aux conditions de notre pays. C'est cet objectif que vise la nouvelle norme SIA 384/6, qui sera présentée dans le cadre de cette conférence.

En 2002 déjà, lors du lancement du programme Energy Codes, la Société Suisse pour la Géothermie a proposé à la SIA de consacrer un volet à la réglementation technique des ouvrages géothermiques. Mais ce n'est que 5 ans plus tard que le travail a pu démarrer, en vue d'une première norme consacrée aux sondes géothermiques.

La norme SIA 384/6 Sondes géothermiques, publiée en décembre 2009, est entrée en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2010. Elle a été élaborée sous l'égide du module Assurance qualité de la SSG et a bénéficié du soutien financier de la Confédération par le biais du programme SuisseEnergie.

La norme concerne la planification, l'exécution et l'exploitation des sondes géothermiques (SG) utilisant le potentiel de chaleur du sous-sol à des fins de chauffage et de refroidissement des bâtiments, avec l'objectif de régler les exigences et les critères de qualité de l'ouvrage et les délimitations par rapport aux autres parties de l'ouvrage. Elle s'applique à l'ensemble des SG fermées et aux champs de SG jusqu'à une profondeur de 400 m. Le domaine d'utilisation comprend également l'accumulation souterraine de chaleur, l'exploitation avec ou sans pompe à chaleur, l'exploitation monovalente ou en combinaison avec d'autres sources d'énergie.

La norme ne traite pas les autres genres de valorisation de la géothermie de faible profondeur comme les géostructures énergétiques, les circuits enterrés et l'exploitation des nappes d'eau souterraines. Le dimensionnement de la pompe à chaleur et du réseau de distribution à l'intérieur des bâtiments n'y est pas non plus inclus. Les aspects administratifs et environnementaux n'y sont mentionnés que sous forme de rappel ou de référence aux textes cantonaux et fédéraux en vigueur.

Outre les prescriptions réglementaires relatives à la conception, l'exécution et l'exploitation, l'intérêt de la norme réside dans les nombreux tableaux, graphiques et exemples donnés en annexe, destinés à faciliter le travail des praticiens.



## AGEPP – Lavey – Vaud

Le premier projet romand de  
géothermie profonde à l'aube  
du forage de reconnaissance



Dr. Pascal Vinard

Directeur SI-REN SA, Ville de Lausanne

Chef de projet AGEPP

+41-21-315 83 10

+41-79-444 82 62

pascal.vinard@si-ren.ch

www.si-ren.ch

Gabriele Bianchetti

Directeur ALPGEO Sàrl, Sierre

Responsable du module "Exploration géothermique"

+41-27-456 94 56

+41-79-639 06 23

bianchetti@alpgeo.ch

www.alpgeo.ch



## Objectifs du projet pilote AGEPP

- Démonstration d'une production simultanée d'électricité et de chaleur à partir d'une ressource hydrothermale profonde et de biomasse (centrale de chauffe hydride géothermie / bois)  
⇒ Objectifs : **40 l/s et 110° C**
- Utilisation de la géothermie pour chauffage à distance : communes de Lavey (VD) et de St. Maurice (VS) + établissement thermal de Lavey-les-Bains (VD)
- Mise en place d'un puits d'appoint/secours pour l'approvisionnement en eau thermale des Bains de Lavey
- Démonstration d'une valorisation en cascade de la chaleur électricité ⇒ chauffage à distance ⇒ serre tropicale et/ou pisciculture





## Historique et naissance d'AGEPP

- 1831 : découverte de la source thermique
- 1836-1928 : puits de 28 m, 60 l/mn à 35-50°C
- 1928-1971 : reprise de l'exploitation par l'Etat de Vaud
- 1972 : puits P201 (200 m), 440 l/mn à 62°C
- 1978-1998 : centre thermal cantonal, 200'000 entrées par an
- 1997 : puits P600 (594 m), 1'340 l/mn à 67°C
- Dès 2000 : exploitation par Bains de Lavey SA, 550'000 entrées par an
- Approvisionnement des Bains : pompage simultané dans les puits P201 + P600, eau thermique fournie par CESLA SA (100% VD), 550'000 m<sup>3</sup> par an
- Situation actuelle : P600 avec eau à 65°C et 1340 l/mn ; P201 avec 55°C et 560 l/mn
- Risques en hiver si panne du puits P600, baisse continue de la température du P201
- Nécessité d'un puits de secours d'environ 1'000 m (P1000, 30 l/s à 70°C)

⇒ Vu les conditions géothermiques favorables, idée de faire un forage plus profond permettant d'alimenter un CAD et de produire de l'électricité : naissance du projet AGEPP (2005)



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-3-



## Indices de thermalisme à Lavey

Eaux thermales avec des températures de 55 à 65°C captées par des puits de 200 à 600 m

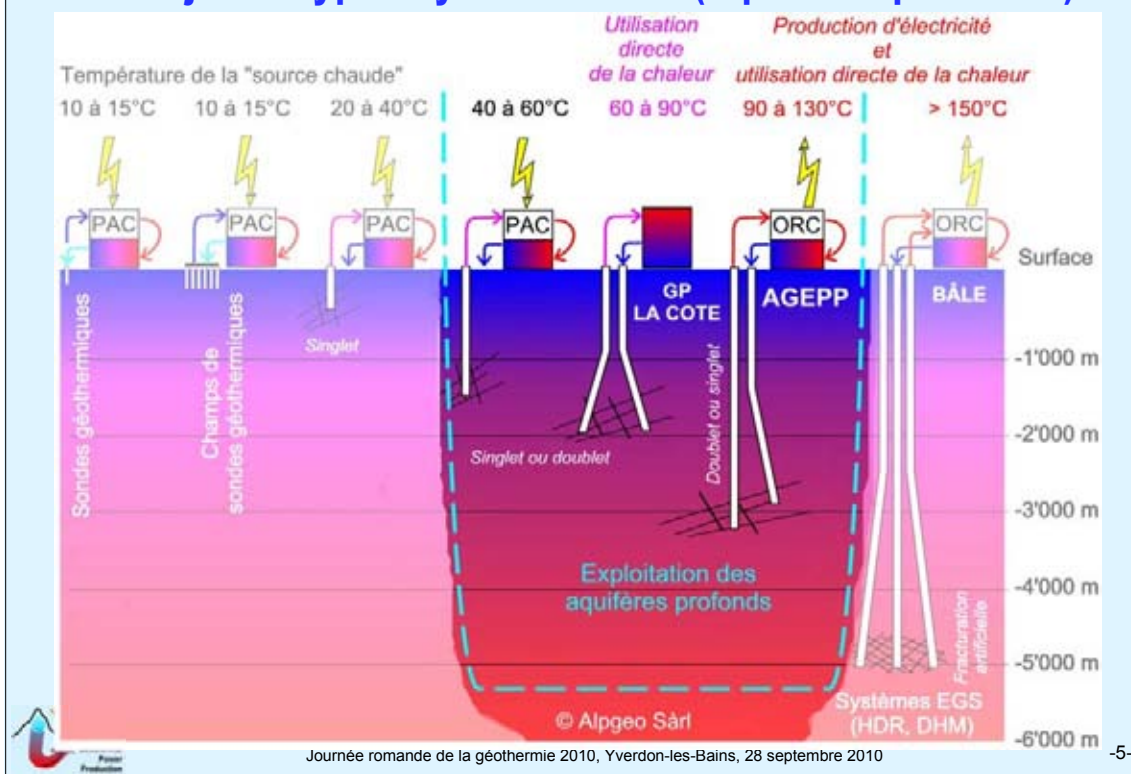
Plusieurs géothermomètres qui indiquent des températures du réservoir profond de l'ordre de 100 à 110°C



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

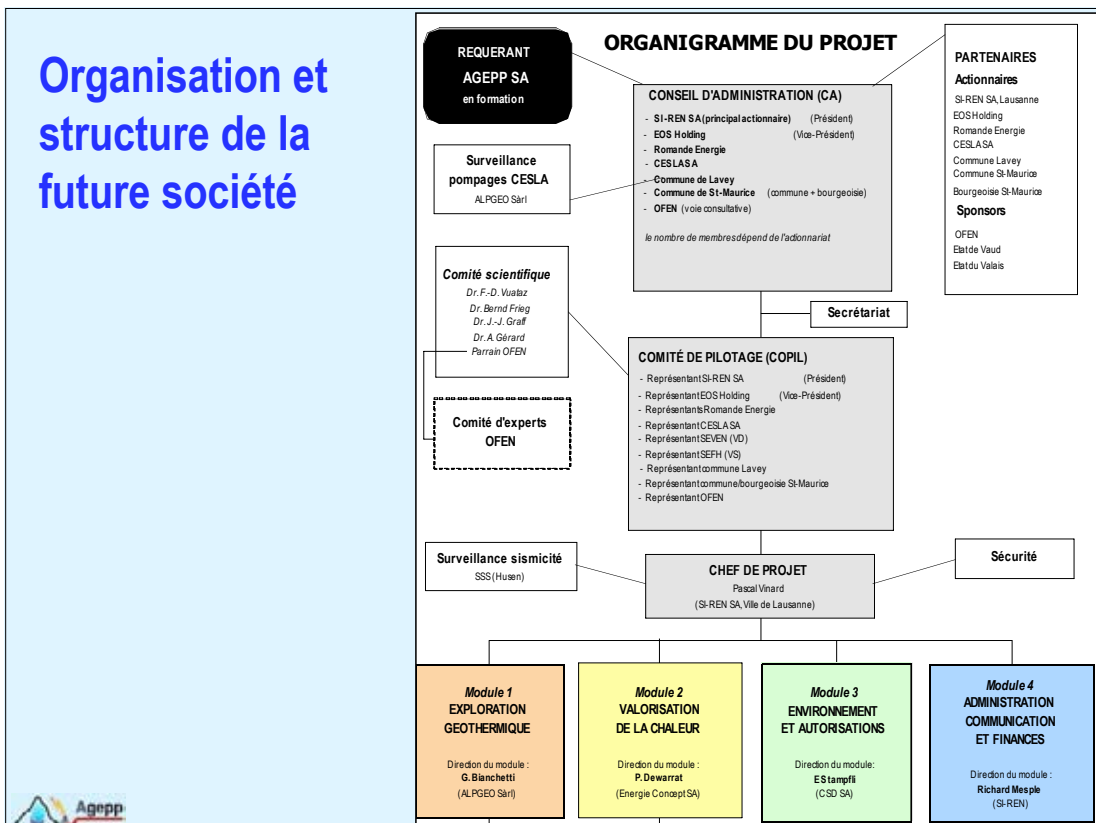
-4-

## Projet de type "hydrothermal" (aquifères profonds)



-5-

## Organisation et structure de la future société



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-6-



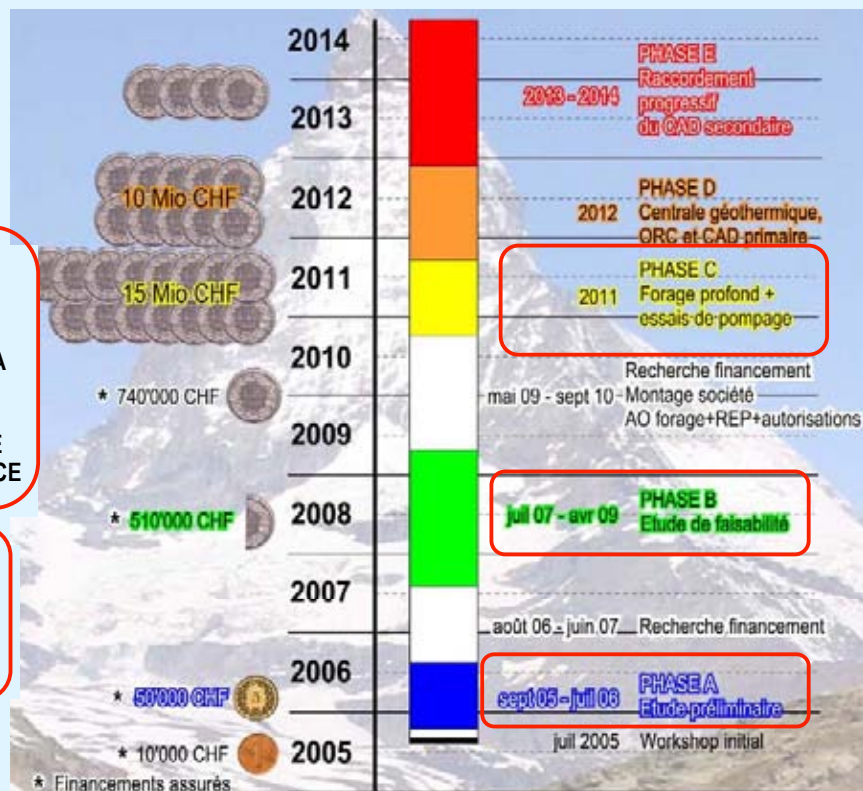
## Étapes et budget

### Partenaires phase C

- SI-REN SA (Lausanne)
- EOS Holding
- ROMANDE ENERGIE SA
- CESLA SA
- Commune LAVEY
- Commune ST-MAURICE
- Bourgeoisie ST-MAURICE

### Sponsors phase C

- OFEN
- Etat de Vaud (SEVEN)
- Etat du Valais (SEFH)



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

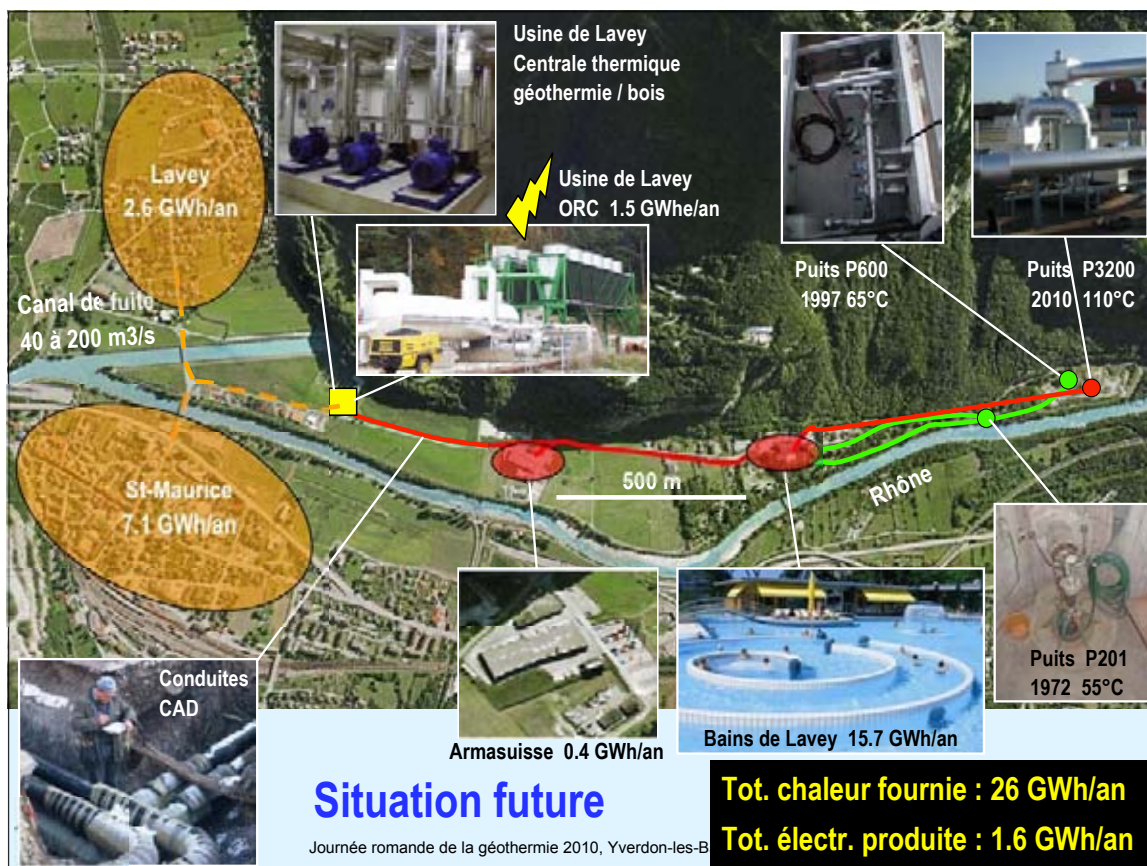
-7-



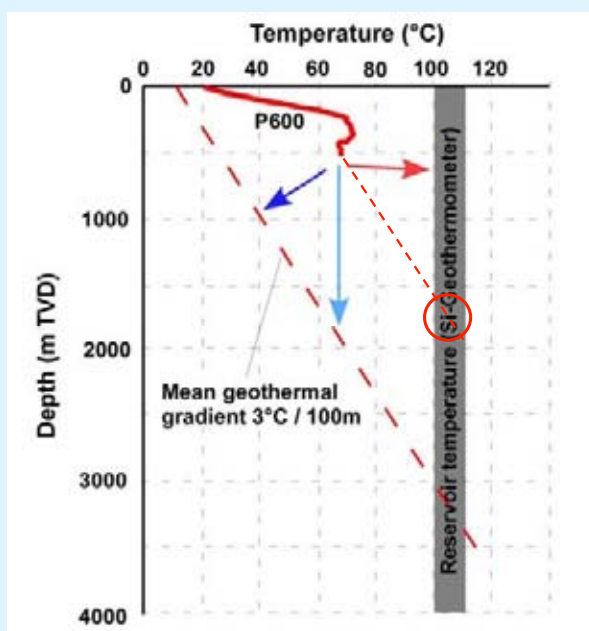
## Situation actuelle

Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

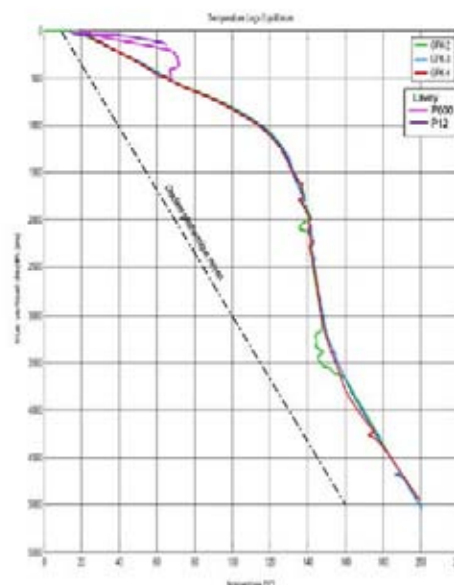
-8-



## Gradient géothermique: faits et hypothèses

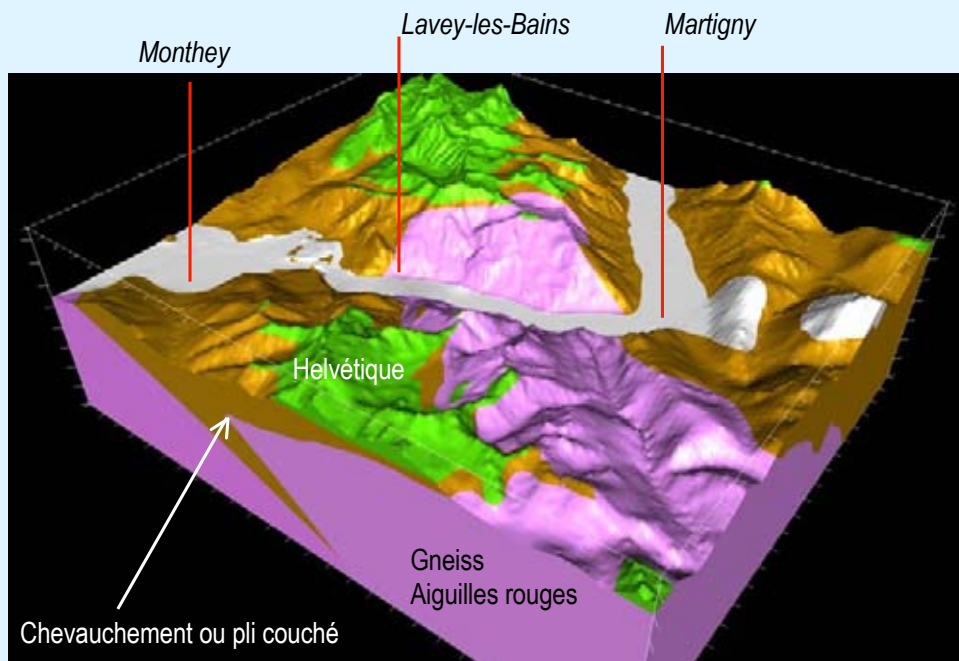


Profils thermiques à Soultz-sous-Forêts et Lavey-les-Bains





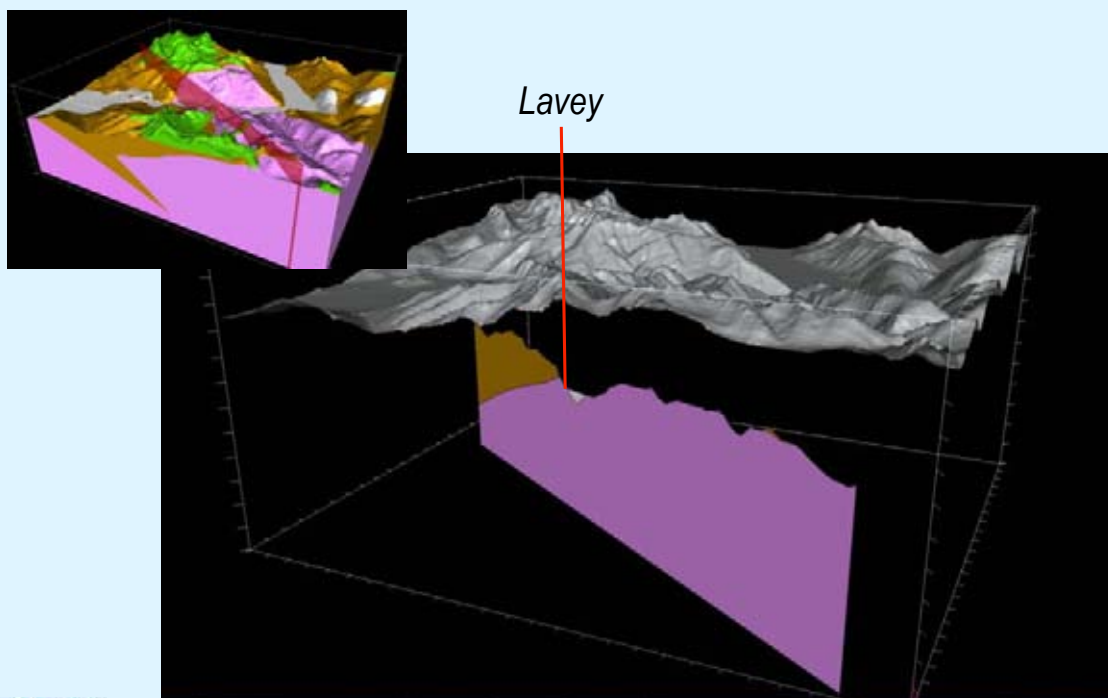
## Structure géologique



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-11-

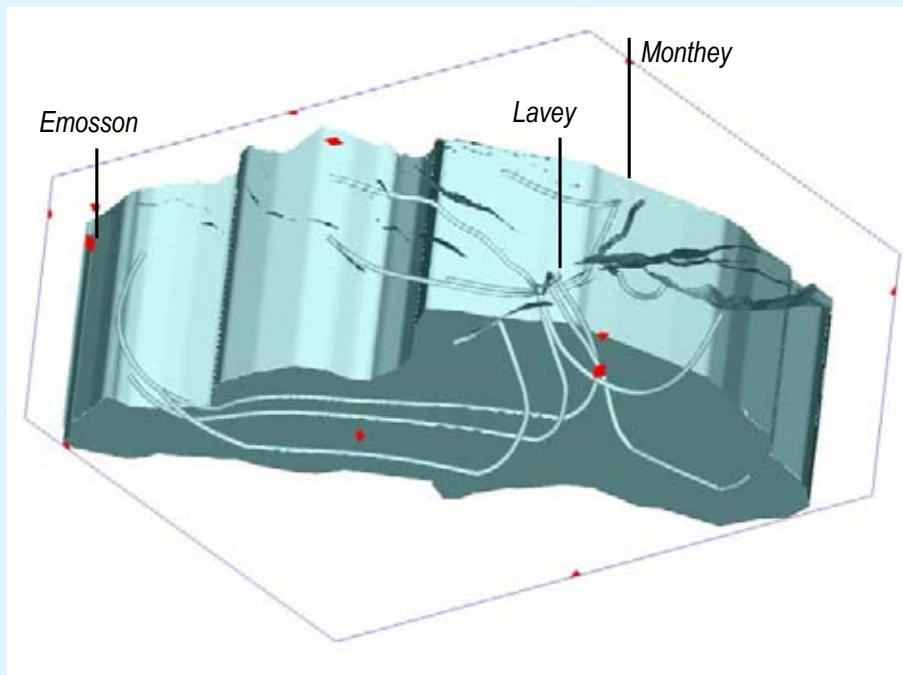
## Coupe géologique



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-12-

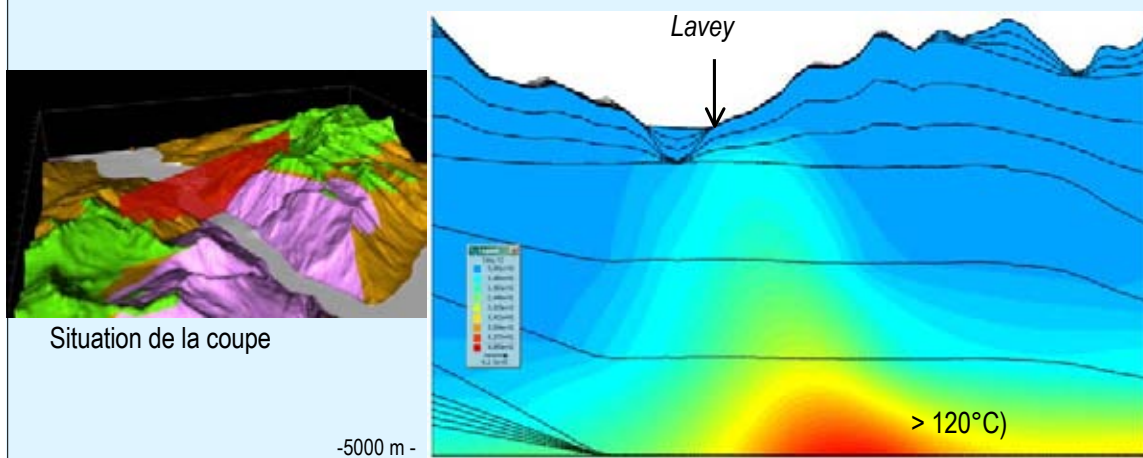
## Lignes de courant (modèle numérique)



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-13-

## Températures calculées



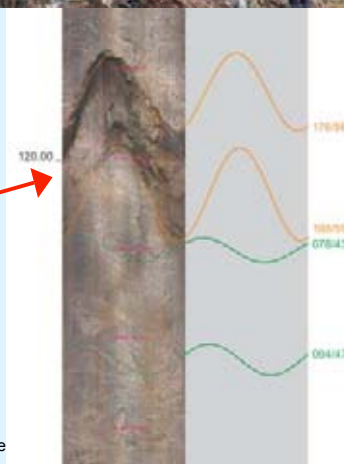
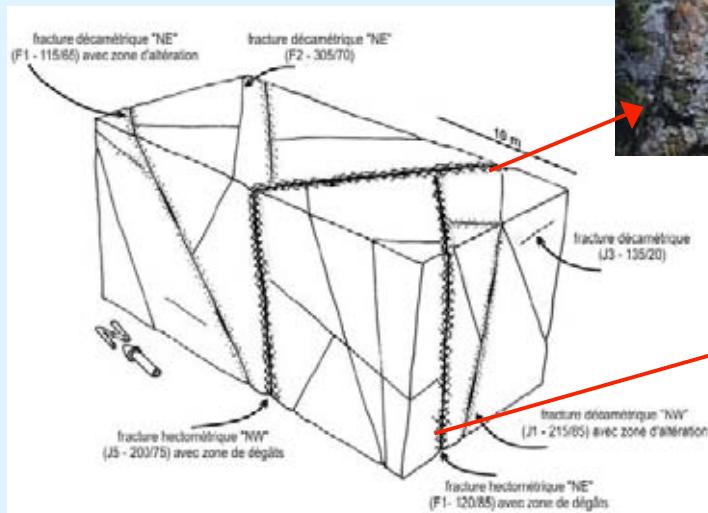
Variante à perméabilité hétérogène et isotrope (sans discontinuités discrétisées)



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

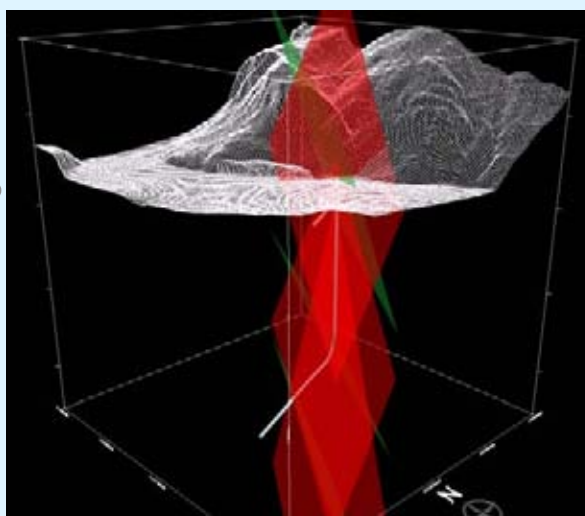
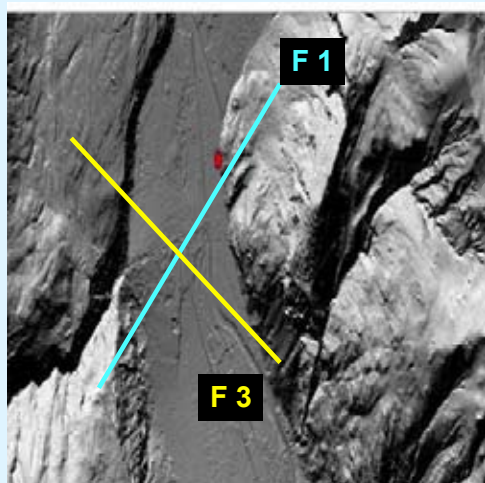
-14-

## Discontinuités d'extension hectométrique



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 sept

## Principales familles de discontinuités



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010



## Résultats provisoires

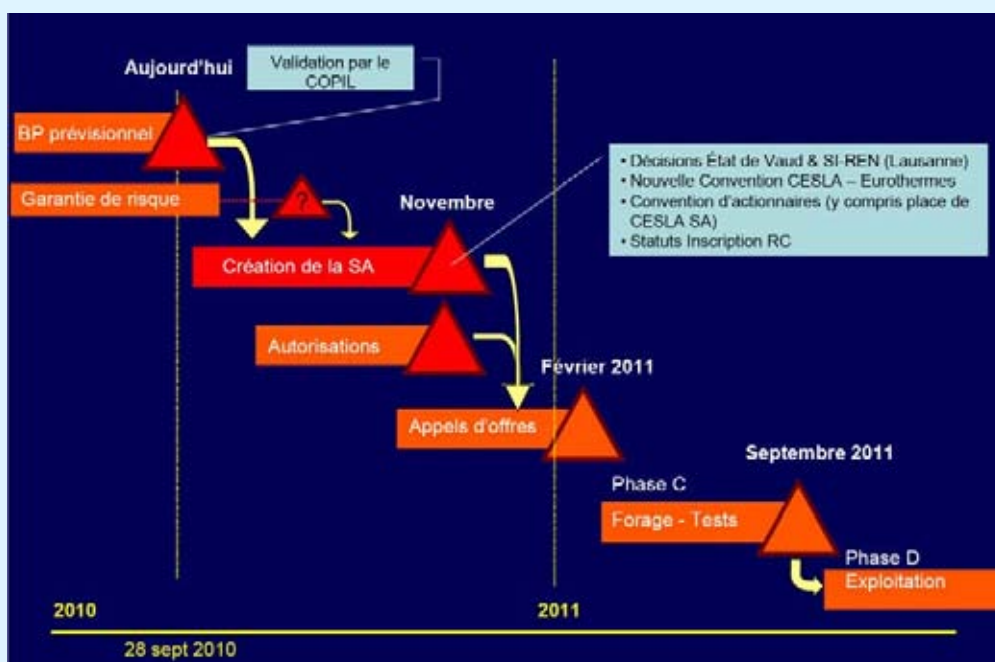
*Le modélisation hydrodynamique-thermique montre que :*

1. La zone d'exfiltration préférentielle de l'aquifère thermal profond se situe bien en rive droite du Rhône à Lavey;
2. Il faut une bonne interconnexion hydraulique entre les discontinuités observées en surface et dans les forages de Lavey-les-Bains pour expliquer les températures très élevées mesurées actuellement jusqu'à environ 500 m de profondeur (forage P600).

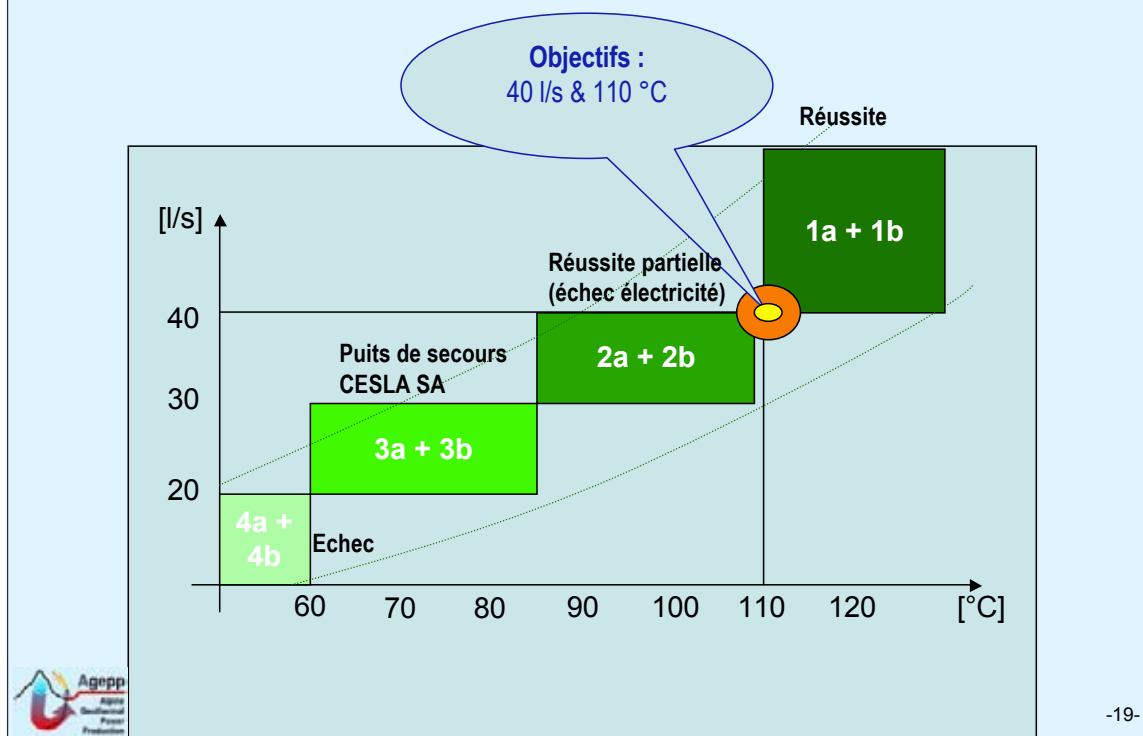
⇒ Les prochaines simulations vont tester un réseau de fissures à l'échelle régionale et locale



## Principales étapes et jalons jusqu'au forage



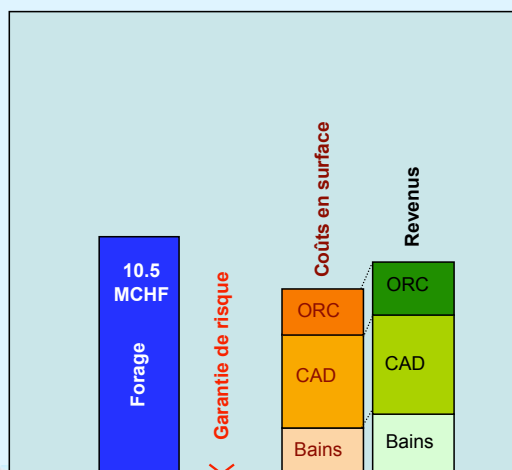
## Les 4 scénarios d'AGEPP



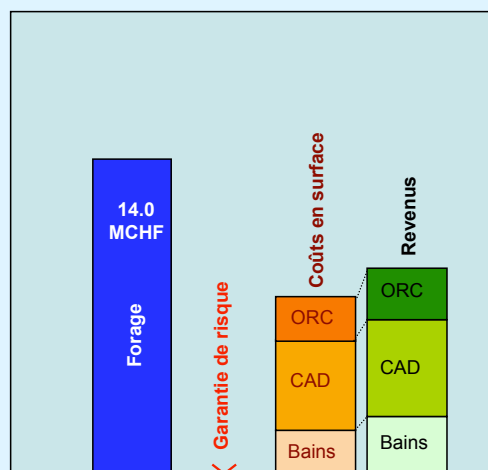
## Scénarios 1a et 1b

Réussite  
≥ 40 l/s et ≥ 110° C

**1a : 2'300 m**



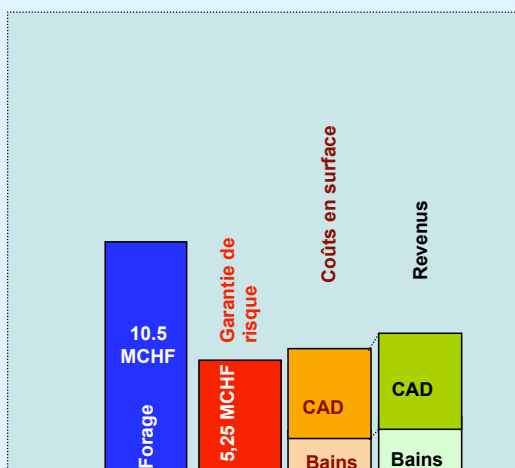
**1b : 3'000 m**



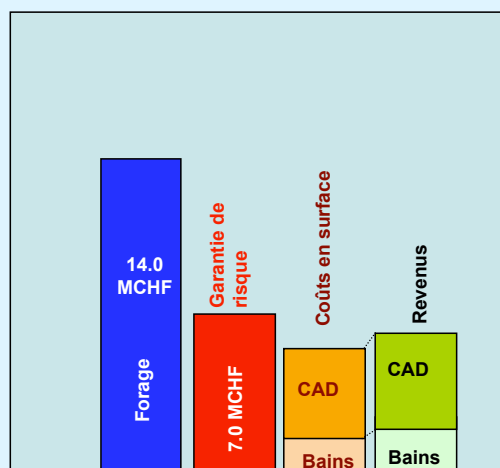
## Scénarios 2a et 2b

Garantie du risque Swissgrid  
30-40 l/s et 85-110° C

2a : 2'300 m



2b : 3'200 m



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-21-

## Valorisation de la chaleur résiduelle



© Extechna

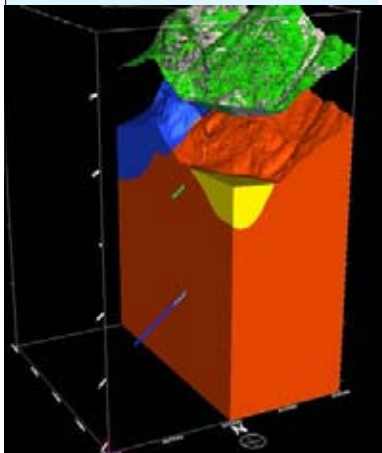
Mise en place d'une serre tropicale  
et d'une pisciculture comme à Frutigen



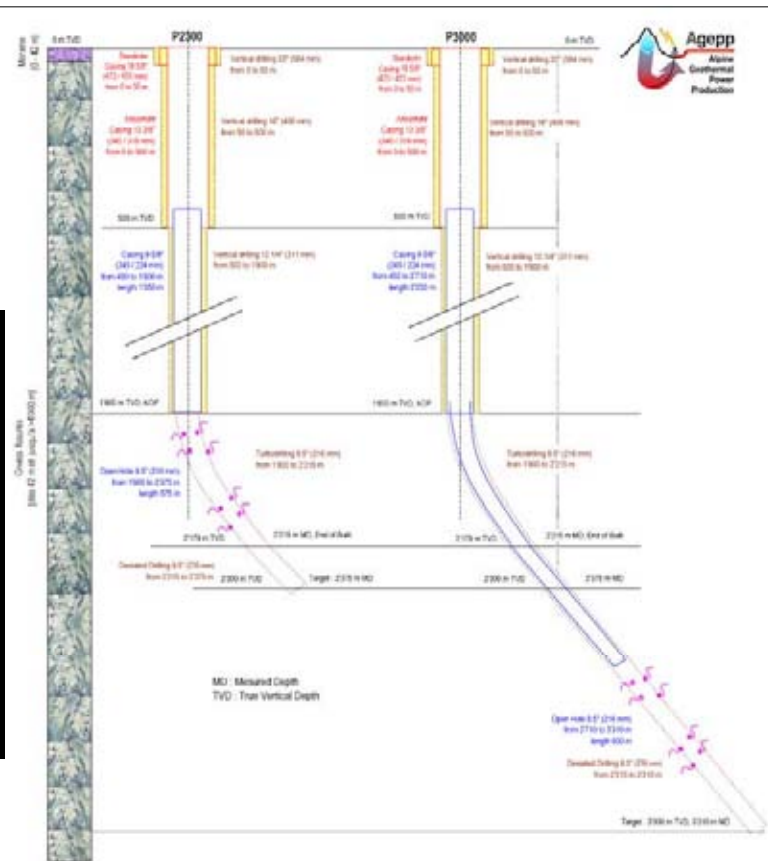
Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-22-

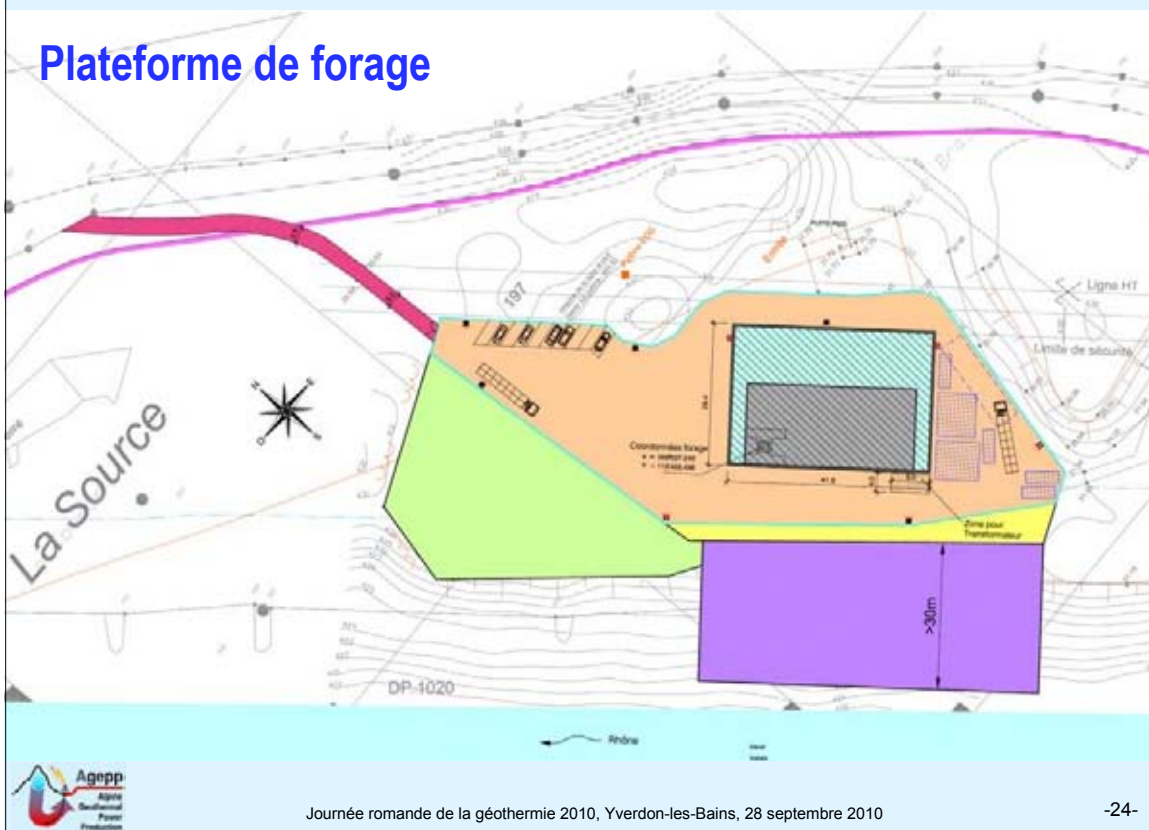
# Implantation du forage, design et stratégie



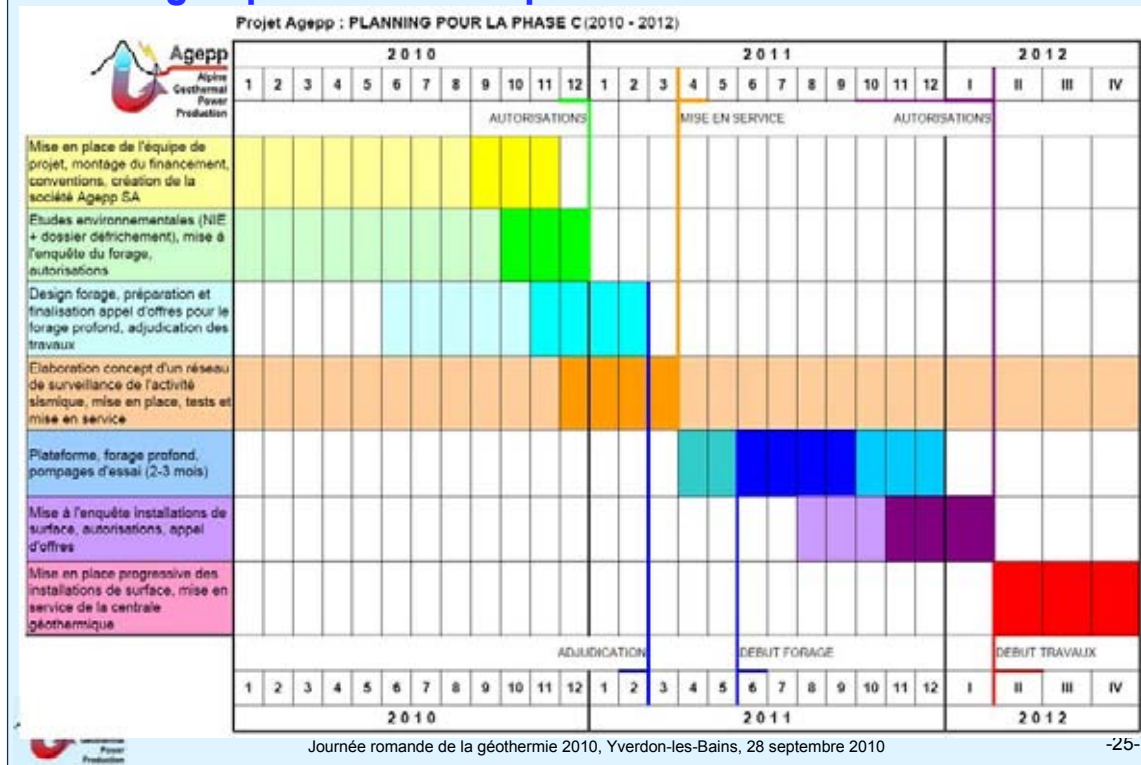
Journée r



## Plateforme de forage



## Planning et prochaines étapes



-25-

## AGEPP - Lavey en chiffres



Lavey, juin 2011  
Futur forage profond P 3200

Forage long de 2'375 m (profondeur : 2'300 m), si nécessaire approfondi jusqu'à 3'310 m (3'000 m)

Investissement : ~22 à 26 Mio CHF (y.c. CAD primaire)

Puissance géothermale : 10'000 kW

Puissance électrique nette : 250 kW

Puissance chauffage à distance : 7'000 kW

Énergie électrique produite : 1.6 GWh/an

Énergie de chauffage fournie : 26 GWh/an

Électricité pour 400 foyers

Chauffage pour 1'200 foyers

Potentiel de réduction CO<sub>2</sub> : 6'500 t/an



## AGEPP – Messages principaux

- **Pragmatisme** : mieux vaut rester simple et réaliste que trop ambitieux et cher!
- **Garantie du risque de forage géothermiques**: importante et urgente!
- Bonne équipe de projet = **spécialistes éprouvés & bonne «chimie»**
- Nécessité de pouvoir se baser sur un **réseau d'experts compétents et engagés**
- Nécessité d'un **partenariat fort** et prêt à assumer un certain nombre de risques calculés
- Nécessité d'un **soutien local actif**
- Nécessité de **partager l'expérience** entre les divers projets (en amont et en aval) = pooling des compétences au service des différents projets (par exemple: communauté d'intérêt de projets (inter-)communaux
- Nécessité de **renforcer la recherche fondamentale et appliquée** dans les domaines-clé de la géothermie profonde
- La géothermie profonde a un potentiel élevé, MAIS .... il nous faut un **succès**
- Les **conditions hydrogéologiques** sont déterminantes
- Quoi qu'il en soit, **la Nature aura le dernière mot!**



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-27-



# Merci de votre attention!

Nous nous tenons à votre  
disposition pour toute question,  
renseignement ou conseil

Lavey, juin 2011  
Futur forage profond P3200



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-28-



## Etude du potentiel géothermique cantonal en Suisse Romande

### But

Donner aux autorités cantonales des bases et des recommandations pour engager des projets géothermiques sur une ressource connue, et/ou d'engager la prospection de ressources encore peu connues.

### Méthodes

- Compilation et intégration de toutes les données existantes du sous-sol.
- Evaluation du potentiel et/ou du nombre d'installations possible.
- Estimation du potentiel de consommation de chaleur.

### Etudes réalisées et en cours

Valais (1988-1996), Vaud (2003), Fribourg (2005), Neuchâtel (2008 et 2010), Genève (2010).

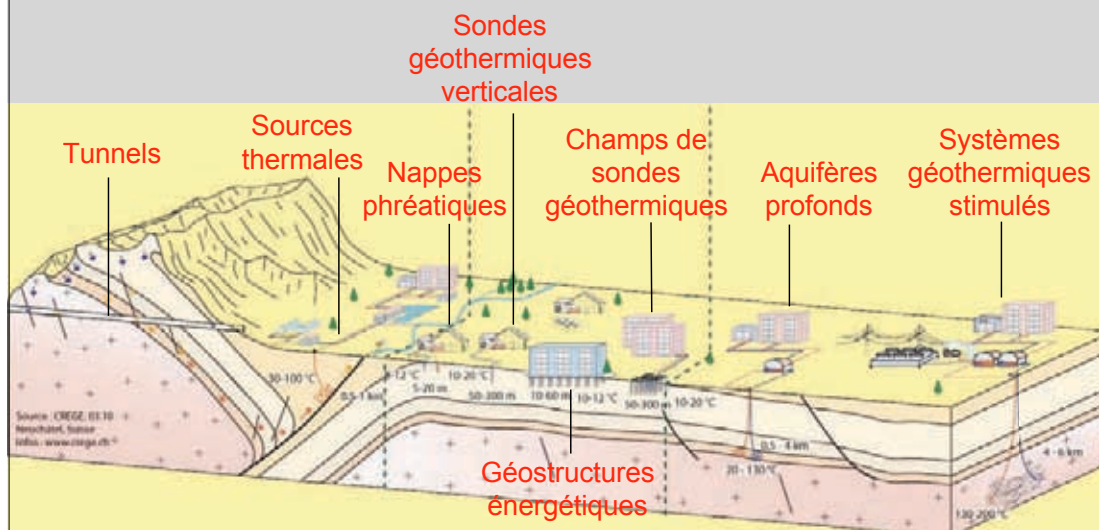
### Réalisation

Equipe de projet formés de spécialistes des différents domaines de la géothermie (Instituts de recherche, bureaux d'ingénieurs, services cantonaux).

### Financement

Variable selon les projets: cantons, Confédération, entreprises publiques, fonds privés.

## Type de ressources et d'applications géothermiques en Suisse



## Programme cantonal de développement de la géothermie à Neuchâtel du canton de Neuchâtel - PDGN (2009-2010)

### Buts

- Appliquer les recommandations du projet PGN (2008) dans une vision à long terme.
- Quantifier le potentiel géothermique cantonal pour 5 types de ressources différents: SGV, GEN, NAP, EDS, APR.

### Méthodes

- Calcul du potentiel théorique et du nombre d'installations par type de ressource.
- Formulation des conditions d'exploitation (procédures, réglementation, etc.)
- Organisation de 6 séminaires pour les professionnels et préparation de 2 guides simples de dimensionnement pour de petites installations (SGV, NAP).

### Réalisation

Equipe de projet (membres du réseau SGnet):

- Laboratoire suisse de géothermie - CREGE: F.-D. Vuataz et P. Altwegg.
- Bureau B. Matthey Ing. Cons., Montézillon: M. Affolter et B. Matthey.
- J. Wilhelm Ing. Cons., Pully.
- Service de l'énergie et de l'environnement, SENE, Neuchâtel.
- Autres services cantonaux: Ponts et chaussées, Faune-Forêt-Nature, Géomatique.

### Financement

SENE, Canton de Neuchâtel.

## Sondes géothermiques verticales (SGV)

- Potentiel dépendant fortement du mode d'exploitation: avec ou sans recharge thermique saisonnière du sous-sol.
- Exploitation sans recharge thermique: potentiel de 308 GWh<sub>th</sub>/an (= production de 410 GWh<sub>th</sub>/an avec PAC standard) --> 20 % des besoins en énergie de chauffage. Refroidissement à long terme de 1 °C.
- Exploitations performantes avec recharge thermique: potentiel de 16'270 GWh<sub>th</sub>/an sur l'ensemble des zones constructibles --> >100 % des besoins en chaleur. Pas de refroidissement à long terme.
- Avec les limitations liées à l'aménagement du territoire et à la protection des eaux souterraines (zones interdites ou profondeur limitée): secteurs autorisés: 909 GWh<sub>th</sub>/an --> 43% des besoins cantonaux.
- Potentiel élevé pour les SGV: favoriser la recharge thermique et les grandes installations (champs de SGV).



Ecole de la  
Maladière:  
champ de SGV

## Géostrucures énergétiques (GEN)

- L'étude PGN (2008) avait déjà quantifié le potentiel des GEN: potentiel théorique de 180 GWh<sub>th</sub>/an.
- Evaluation de deux grands projets:
  1. Pieux énergétiques pour le projet Le Corbusier à La Chaux-de-Fonds: surface de 49'000 m<sup>2</sup> pour 18 bâtiments divers avec des besoins de 2'220 MWh<sub>th</sub>/an. Potentiel des pieux énergétiques = 750 MWh<sub>th</sub>/an
  2. Tunnel de la liaison ferroviaire TransRUN entre La Chaux-de-Fonds et Neuchâtel: intérêt pour la valorisation thermique par des échangeurs de chaleur (géostrucures) intégrés dans les gares souterraines.



Zones potentielles pour les GEN



Site du projet Le Corbusier

## Nappes phréatiques (NAP)

- Potentiel localisé sur 14 km<sup>2</sup> (< 2 % de la surface du canton): 27 communes concernées.
- Potentiel de chaleur sans recharge thermique estivale: 33 GWh<sub>th</sub>/an.
- Potentiel de froid en freecooling: 26 GWh<sub>frig</sub>/an.
- Nappes phréatiques principales: delta de l'Areuse et Val-de-Travers;
- Autres nappes de petite extension: littoral, Cornaux, Cressier, Le Landeron, La Chaux-de-Fonds.
- Rendement élevé: PAC avec COP de 5.
- Actuellement sous-exploité: 28 installations et 4.4 MWh<sub>th</sub>/an fournis.
- Etude hydrogéologique nécessaire dans chaque cas.



Dépôt des TRN à Fleurier, Val de Travers: chauffage par NAP



## Eaux de surface: cours d'eau, sources, lac, STEP (EDS)

- Bonne qualité des eaux de surface pour une exploitation thermique.
- Potentiel
  1. Cours d'eau et effluents des STEP (minimum en fonction des débits d'étiage): 78 GWh<sub>th</sub>/an.
  2. Lac de Neuchâtel: 1'357 GWh<sub>th</sub>/an
    - > 60% de la demande d'énergie de chauffage du canton.
    - > 100% de la demande d'énergie de chauffage située à moins de 300 m de la rive du lac.



Source de La Serrière,  
Neuchâtel

## Aquifères profonds (APR)

- Pas de manifestations de surface de type sources thermales, ni de forages profonds permettant un accès aux APR.
- 3 formations géologiques carbonatées peuvent contenir des APR: Malm, Dogger et Muschelkalk.
- Gradient géothermique moyen considéré normal ( $30 \pm 5$  °C/km) au pied du Jura et plus faible ( $25 \pm 5$  °C/km) dans les chaînes du Jura (karst).
- Calcul du potentiel théorique de chaque aquifère à l'échelle du canton.
- Présélection de zones pour l'implantation de forages profonds sur 10 communes.
- Potentiel total théorique des APR: 5'380 GWh<sub>th</sub>/an



Aquifère	Malm	Dogger	Muschelkalk
Temp. moyenne (°C)	24	35	51
P par doublet (MW <sub>th</sub> )	0.8 - 1.1	0.6 - 0.9	1.3 - 1.9
P totale (MW <sub>th</sub> )	595 - 795	260 - 390	255 - 384

## Projet GeoNE : Développement de la géothermie des aquifères profonds dans le canton de Neuchâtel

- **Décision du Conseil d'Etat neuchâtelois en 2008:** Soutien à la création d'un centre de compétence en géothermie à Neuchâtel et développement de la géothermie profonde en vue d'une indépendance énergétique vers 2050.
- **Buts:** Prospection des aquifères profonds et sélection des sites les plus favorables et transfert de technologie vers les bureaux d'ingénieurs.
- **Financement:** Départements de la gestion du territoire et de l'économie du canton de Neuchâtel, ainsi que le Secrétariat d'Etat à l'Economie - SECO (CH).
- **Réalisation:** Etude détaillée de plusieurs sites en vue de l'implantation d'exploitations par doublets géothermiques, selon les aquifères profonds potentiels, les conditions géologiques locales et les lieux de consommation de chaleur.
- **Méthodes:** Prospection géologique et géophysique, modèle géologique 3D, campagne de gravimétrie, modèle géophysique.

## Projet GeoNE : Transfert de technologie

### Buts

Transfert des connaissances nécessaires en géothermie et en prospection géologique et géophysique aux bureaux d'ingénieurs en particulier dans le canton de Neuchâtel.

### Réalisation

Laboratoire Suisse de Géothermie de l'Univ. de Neuchâtel.

### Méthodes et outils à transférer

- Méthodes géophysiques: gravimétrie, magnéto-tellurique, modélisation, logiciels d'interprétation.
- Méthodes géologiques: modélisation 3D.
- Méthodes géochimiques: prélèvements et interprétation des données.

### Programme 2010

Organisation de 2 conférences sur le projet GeoNE en novembre.

### Programme 2011

Démarrage d'une formation continue en géothermie profonde à l'Univ. de Neuchâtel.



## Projet GeoNE : 2 Conférences à l'Université de Neuchâtel

<b>Conférence</b>	Potentiel de la géothermie dans le canton du Neuchâtel	Information sur le programme de transfert de technologie du Laboratoire suisse de Géothermie
<b>Date</b>	Mardi 23 novembre 2010 13h45 - 18h00	Mercredi 24 novembre 2010 9h00 - 17h30
<b>Public</b>	Industrie et services publics	Bureaux d'ingénieurs et de géologues
<b>Thèmes</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Potentiel géothermique du canton de NE.</li> <li>- Présentation des études PGN, PDGN et GeoNE.</li> <li>- Présentation des 3 régions sélectionnées.</li> <li>- Propositions d'investissement pour l'industrie.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Présentation du programme GeoNE et des 3 régions sélectionnées.</li> <li>- Présentation d'une collaboration en cours pour le transfert de technologie.</li> <li>- Démonstration des méthodes et outils du programme de transfert de technologie.</li> <li>- Propositions de collaborations avec des bureaux d'ingénieurs.</li> </ul>
<b>Coût</b>	CHF 60	CHF 95

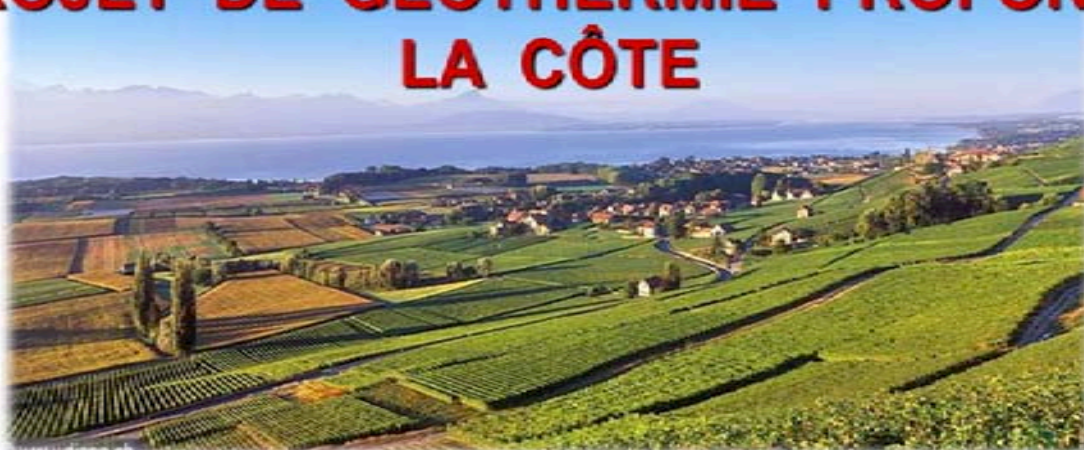
## Projet GeoNE : Formation continue en géothermie profonde

<b>Nom</b>	Certificat d'études avancées (CAS) en géothermie profonde
<b>Lieu</b>	Laboratoire Suisse de géothermie, UNINE
<b>Organisation</b>	Centre d'Hydrogéologie et de Géothermie, CHYN
<b>Objectif</b>	Former des spécialistes en géothermie capables de monter, planifier et conduire des projets en géothermie profondes (APR et EGS)
<b>Structure</b>	4 modules de 5 jours répartis sur 7 mois, total 160 heures, 10 ECTS
<b>Contenu du CAS</b>	Cours, travaux pratiques, excursions, contrôle des connaissances, mémoire personnel de fin d'étude.
<b>Thèmes des modules</b>	1. Géologie et Géophysique - 2. Géochimie et hydrochimie 3. Forage et Diagraphies - Réservoirs et exploitation
<b>Date Périodicité Langue</b>	Septembre 2011 à mars 2012 Annuelle En anglais
<b>Coût</b>	De l'ordre de CHF 5'000





# PROJET DE GÉOTHERMIE PROFONDE LA CÔTE



Le projet d'énergie durable et renouvelable de  
toute une région

**Patrick VALLAT**  
Chef de projet

La Côte  
Géothermie

## UNE ÉQUIPE FORMIDABLE

### Partenaires investisseurs :



**sol-E**  
suisse

Solutions énergétiques durables  
Soluzioni energetiche sostenibili  
Nachhaltige Energielösungen  
Une société du groupe FMB



VILLE DE

**NYON**

**seie** → **SEFA**

**OFEN**

**SEVEN**

### Communes partenaires :

- **Aubonne**
- **Etoy**
- **Gland**
- **Nyon**

### Mandataires principaux :

- **Gabrielle BIANCHETTI**  
de Alpgéo Sàrl à Sierre
- **Dr Robert ARN**  
de ARConseils à Etoy



Géothermie



## CONDITION DE BASE



**Projet de géothermie profonde qui ne cherche pas à faire de la stimulation des roches mais qui profite des failles naturelles dans lesquelles circulent de l'eau réchauffée au contact de la roche calcaire**



## PRINCIPAUX AVANTAGES



- **Production d'énergie indigène, renouvelable et durable**
- **Pas de déchets, pas de pollution, pas de nuisances et pas de dégagement de CO<sub>2</sub>**
- **Pas de stockage car le système fonctionne en continu 24h/24h et 365 jours/an**
- **Très peu d'emprise sur le territoire, donc visuellement très bien intégré**
- **Coût de production stable car indépendant du prix des combustibles fossiles**
- **Bon marché par rapport aux modes de production énergétique actuels**



## OBJECTIF



**Priorité à la valorisation de la chaleur avec possibilité de production d'électricité si le business plan en confirme la rentabilité**



## BUDGET PHASE B1



**CHF 800'000.– TTC  
pour les 5 sites sélectionnés**

**(environ 60% du budget pour la  
campagne de sismique réflexion)**





# PLANIFICATION DU PROJET



Phase A 2008 - 2009	Etude préliminaire d'identification des sites potentiels
Phase B1 2009 - 2010	Etude de faisabilité géophysique (choix d'un site pilote)
Phase B2 2010 - 2011	Business plan et recherche de financement pour le site pilote
Phase C1 2011 - 2012	Autorisations et appel d'offres pour le forage d'exploration
Phase C2 2012 - 2013	Réalisation d'un forage profond exploratoire
Phase D 2013 - 2014	Mise en place de réseaux de chauffage à distance (CAD)
Phase E 2014 - ...	Mise en exploitation et ... réalisation du projet sur d'autres sites

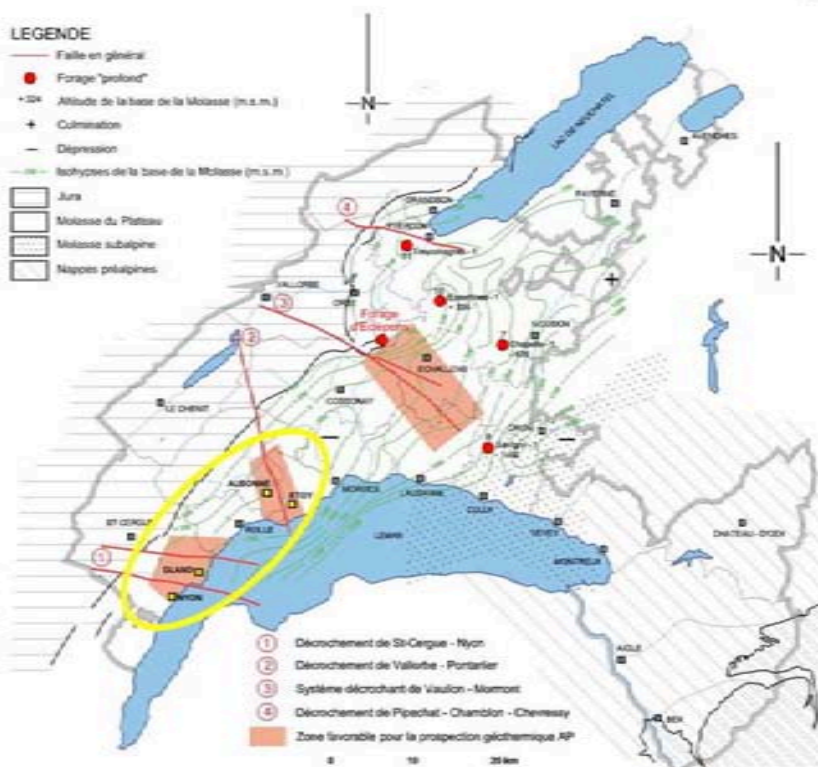


La Côte  
Géothermie

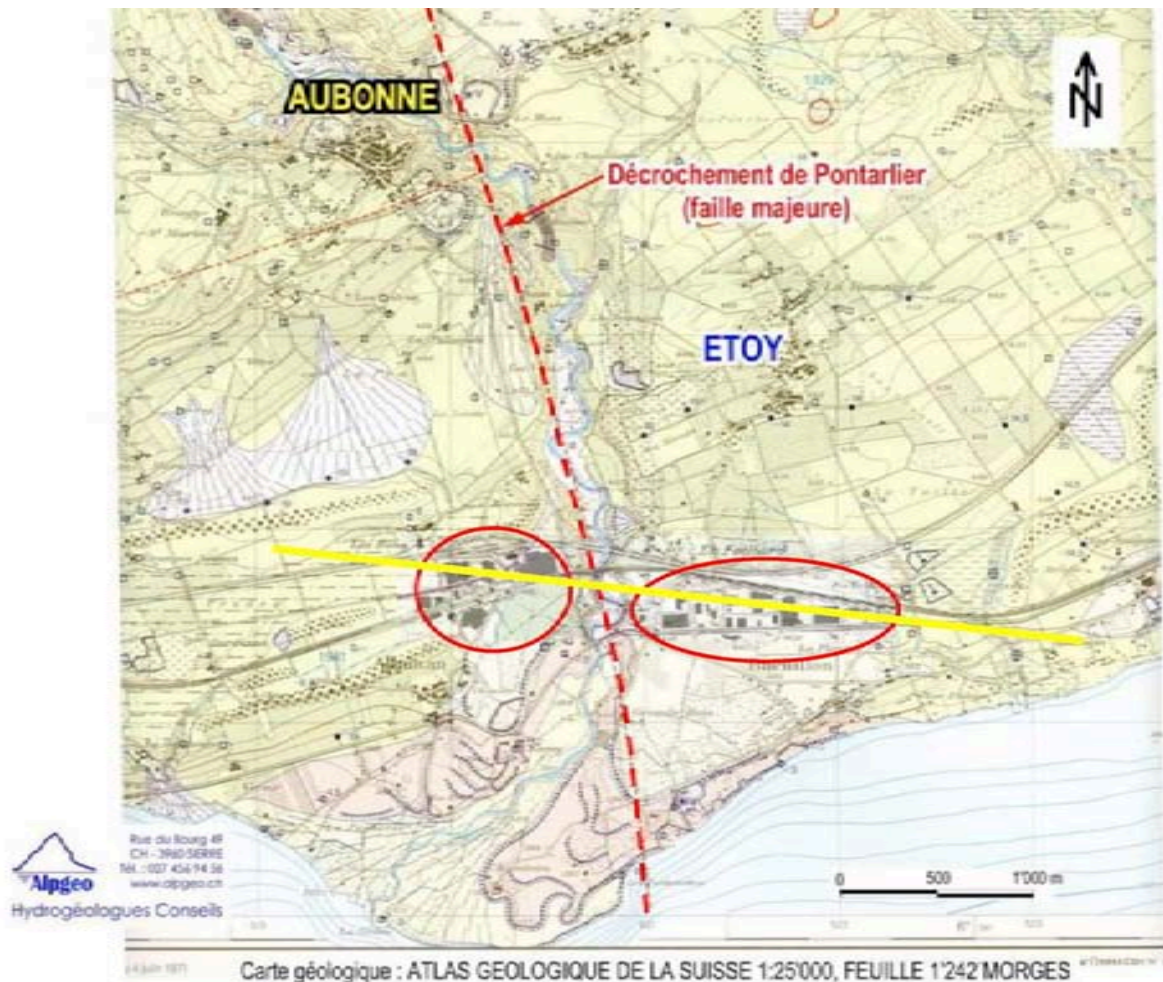
# RÉGION TOUCHÉE PAR LE PROJET



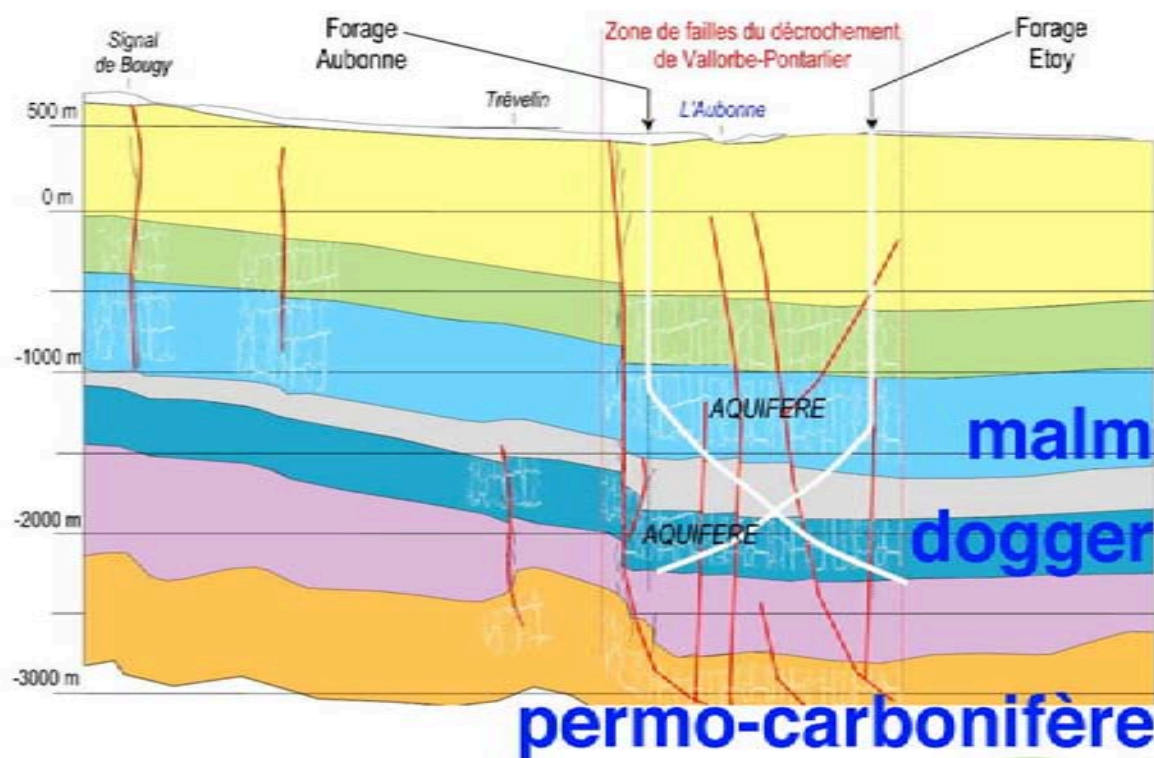
## Districts de Nyon et Morges



La Côte  
Géothermie



## POTENTIEL DE LA RÉGION



La Côte

Géothermie



## ANALYSE DES RISQUES



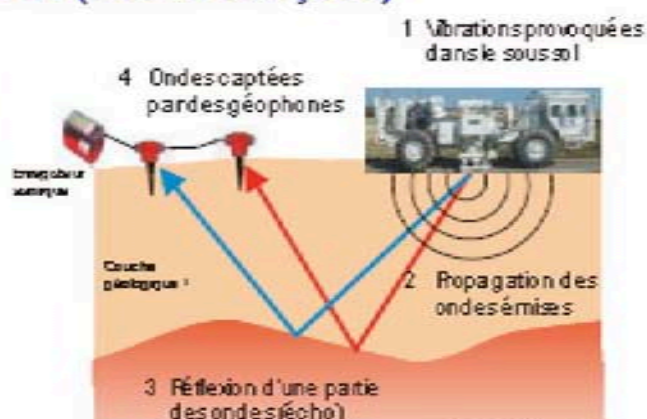
- Nature des réservoirs et leur réalimentation
- Perméabilité et ouverture des fissures à des profondeurs supérieures à 3 km
- Orientation des fissures
- Profondeur exacte des réservoirs profonds
- Débit d'exploitation
- Température et qualité du fluide géothermal
- Coût du forage par doublet en cas de production d'électricité



## CAMPAGNE DE SISMIQUE RÉFLEXION



- **Longueur** : environ 25 km de lignes sismiques
- **Durée** : du 6 au 20 avril 2010
- **Dédommagement** : CHF 290.— (1 seule plainte)
- **Coût** : environ 488'000.— TTC
- **Nombre de camions vibreurs** : 3 (société française)





# AUBONNE



- **Superficie : 688 ha (6.88 km<sup>2</sup>)**
- **Population : 2725 habitants**



Géothermie

# ETOY



- **Superficie : 496 ha (4.96 km<sup>2</sup>)**
- **Population : 2496 habitants**



Géothermie

# LITTORAL-PARC



- Superficie : 67 ha (0,67 km<sup>2</sup>)
- Zone commerciale

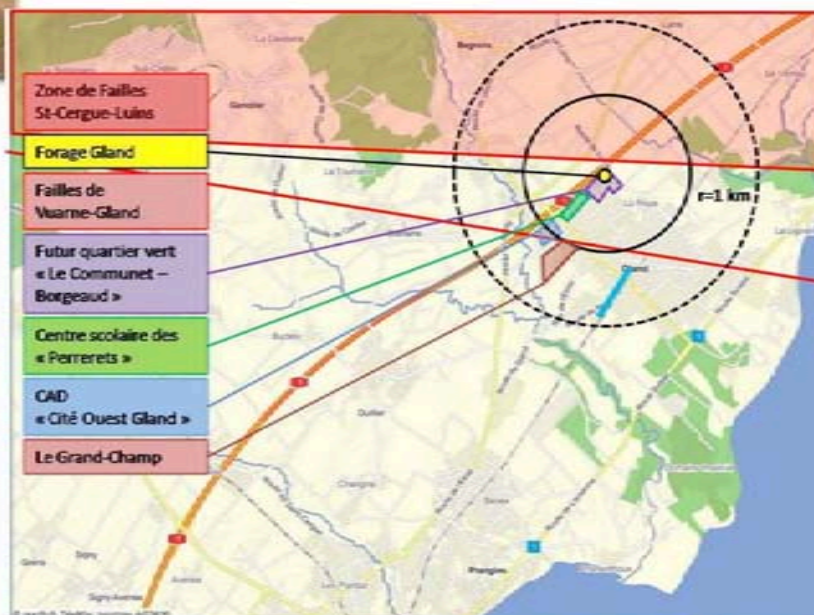


Géothermie

# GLAND



- Superficie : 830 ha (8,3 km<sup>2</sup>)
- Population : 11'165 habitants



Géothermie





- **Superficie : 674 ha (6,74 km<sup>2</sup>)**
- **Population : 17'981 habitants**



## POTENTIELS

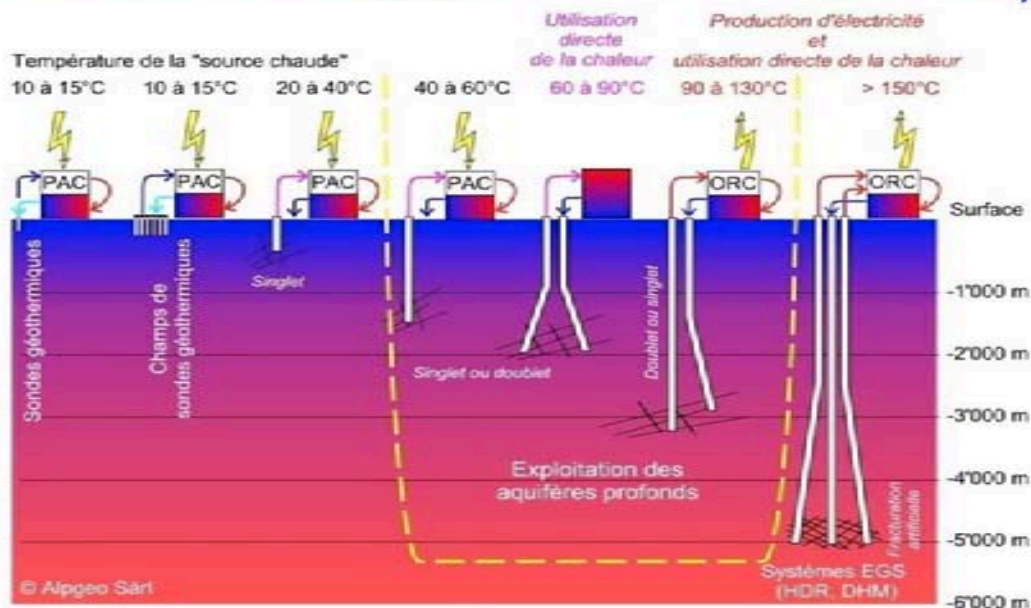
### Couche du Dogger :

Localité	Température moyenne	Profondeur du forage
Unités :	[°C]	[m]
<b>Aubonne - Etoy</b>	82	2400
<b>Gland</b>	87	2550
<b>Nyon</b>	84	2450

### Couche du Permo-carbonifère :

Localité	Température moyenne	Profondeur du forage
Unités :	[°C]	[m]
<b>Aubonne - Etoy</b>	165	5500
<b>Gland</b>	150	4800
<b>Nyon</b>	130	4000

## TYPE D'EXPLOITATION

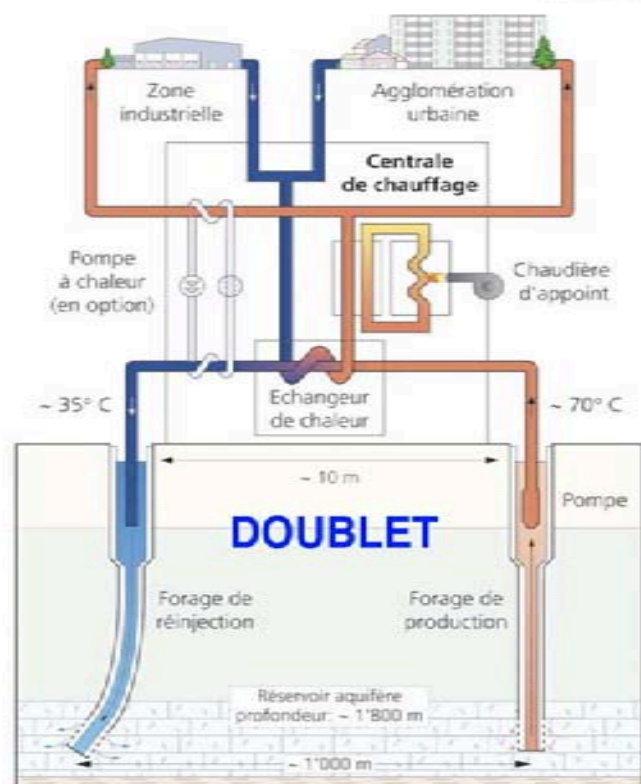


- **Température :** entre 82 et 165 °C
- **Profondeur :** de 2400 à 5500 mètres
- **Fracturation :** pas nécessaire, la nature a déjà fait le travail !
- **Débits envisagés :** 15 à 30 litres / seconde

La Côte  
Géothermie

## PROCESSUS D'EXPLOITATION

- **Plate-forme avec emprise au sol de 33 sur 35 mètres pour les profondeurs envisagées**
- **Précautions pour éviter toute pollution de la nappe phréatique: radier étanche, séparateurs d'huile, tronçon tubé et cimenté, etc...**
- **Système en doublet**



Géothermie



# ANALYSE « SWOT »



Utile pour atteindre l'objectif

Néfastes pour atteindre l'objectif

Origine interne  
(organisation)

## FORCES

- Hautes compétences
- Échanges et complémentarité
- Solidarité et coordination
- Motivation et enthousiasme
- Investissement propre
- Implication des mandataires

## FAIBLESSES

- Compétences rares
- Durée du projet
- Restriction budgétaire
- Démarches administratives

Origine externe  
(environnement)

## OPPORTUNITÉS

- Implication des Communes
- Implication du politique
- Implication des investisseurs
- Démarche participative
- Acceptation du projet
- Projet novateur
- Convention de partenariat (MoU)
- Synergies avec d'autres projets

## MENACES

- Fiabilité des informations
- Absence couverture du risque
- Phénomène de mode
- Adéquation à la demande
- Priorité production d'électricité
- Rendement à tout prix
- Vision du court terme
- Médias (Bâle...)



Géothermie

# QUESTIONS



Géothermie





**Patrick VALLAT**



**Chef de projet GP La Côte**

**p/a SEIC – Chemin des Avouillons 2 – Case postale 321**

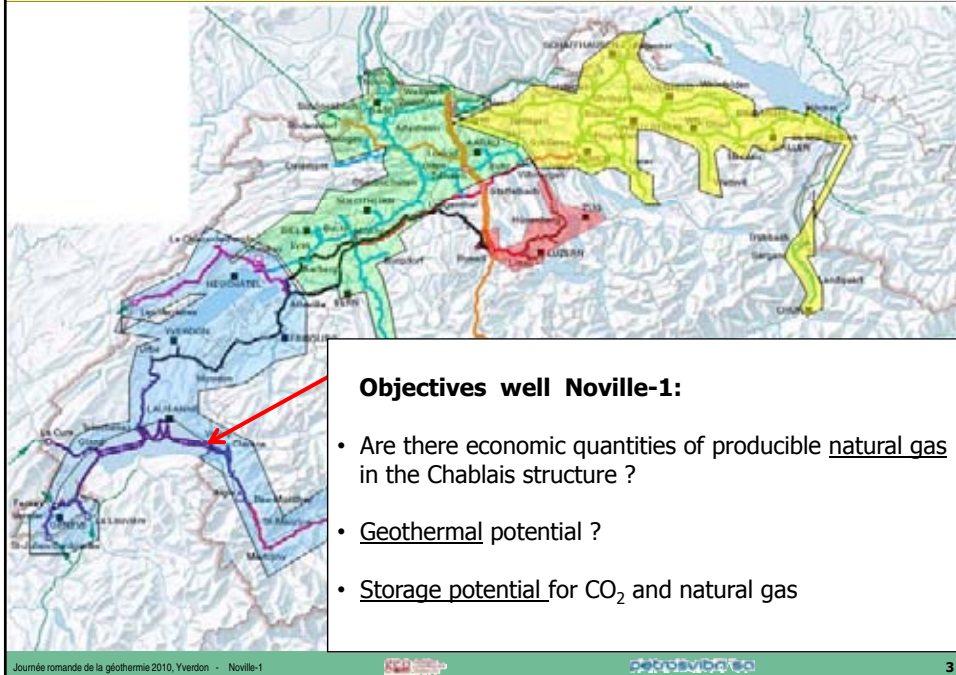
**1196 Gland**

**079 / 205 60 77 – [info@geothermielacote.ch](mailto:info@geothermielacote.ch)**





## Gas Industry Switzerland



## Petrosvibri SA

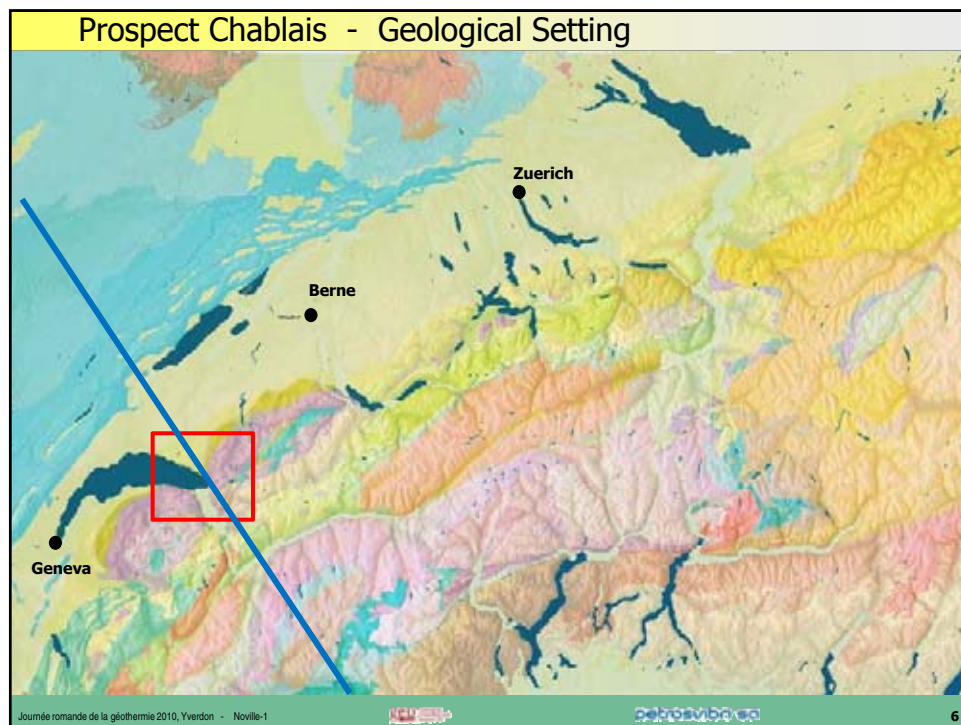
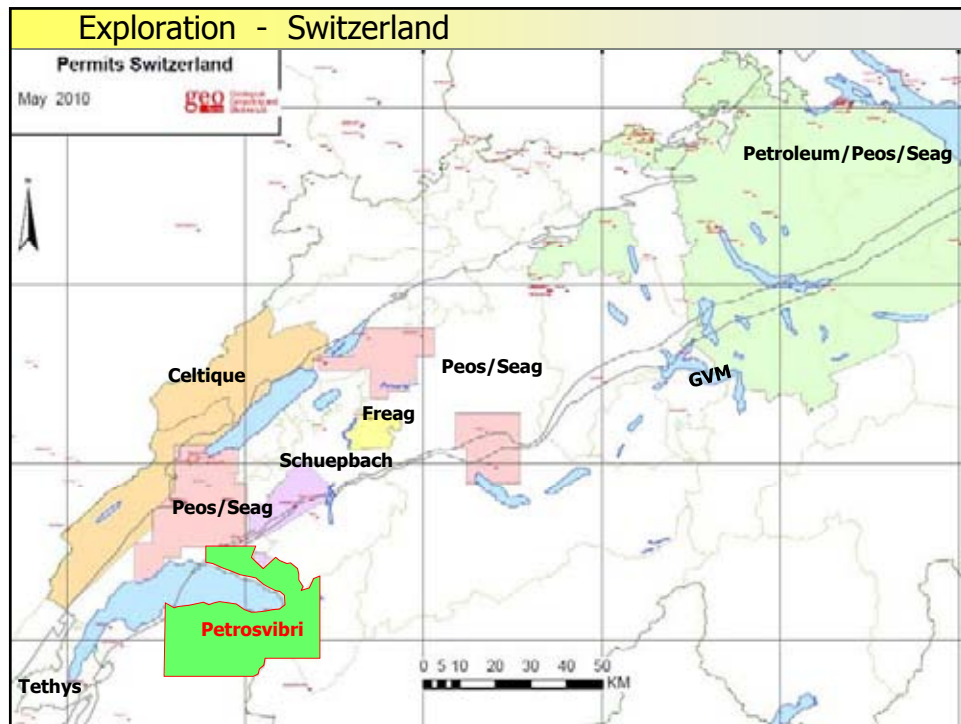
gaz  
nat

petrosvibri

- founded in 1980 (BEB and Swisspetrol)
- discovered Chablais prospect

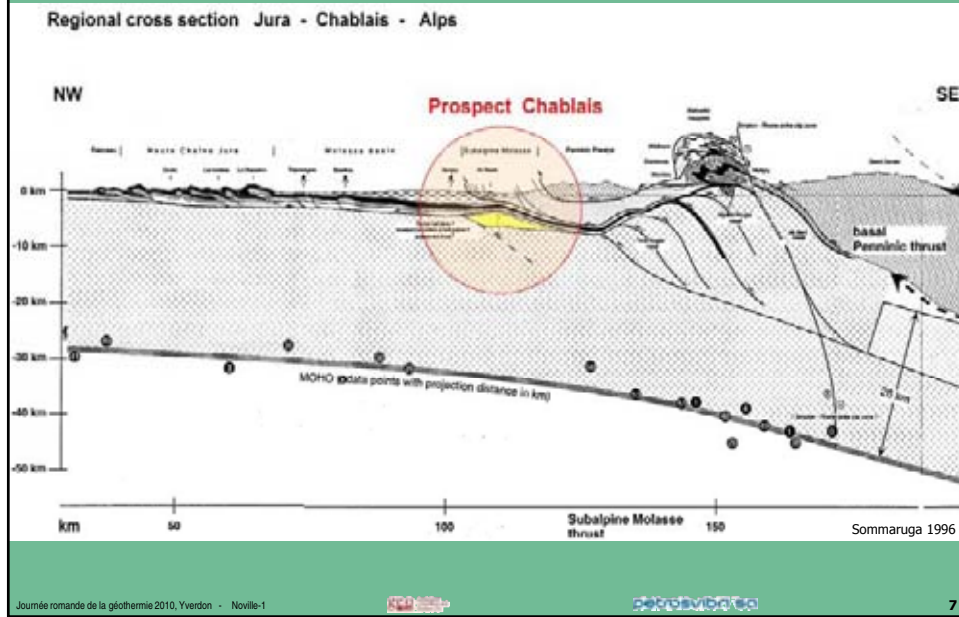
Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon - Noville-1





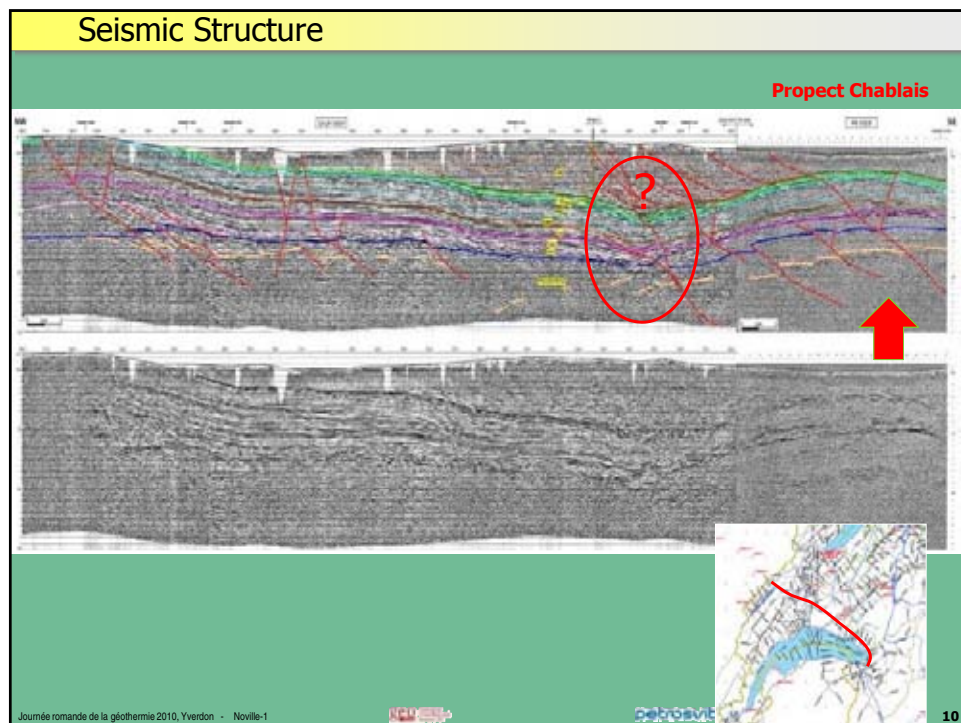
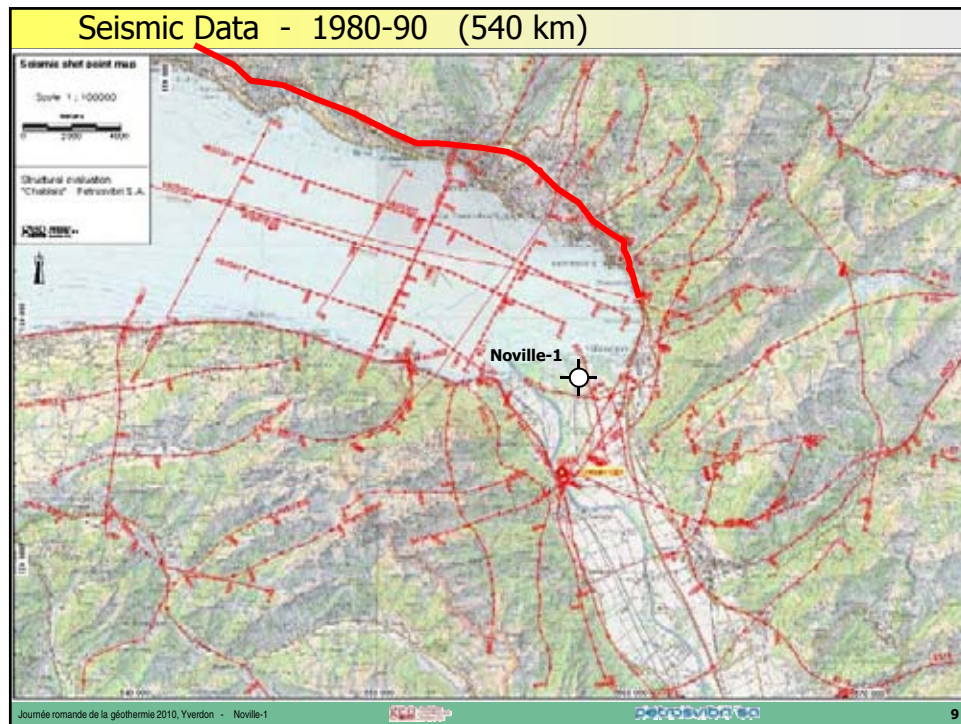


## Deep Crustal Profile

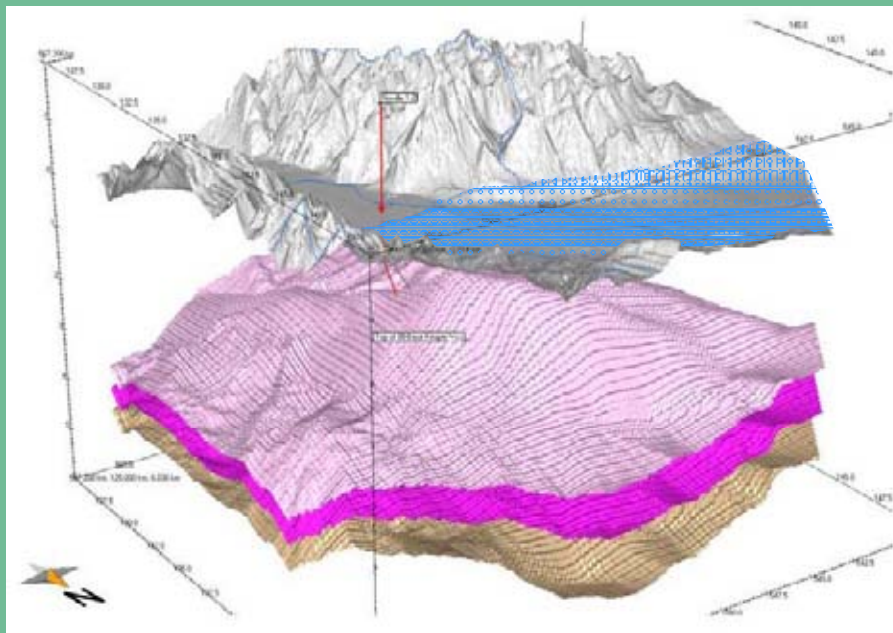


## Chablais - Geology





## Structural culmination - Lake Geneva



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon - Noville-1

RCM

geothermie

11

## Well Location Noville-1 ??



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon - Noville-1

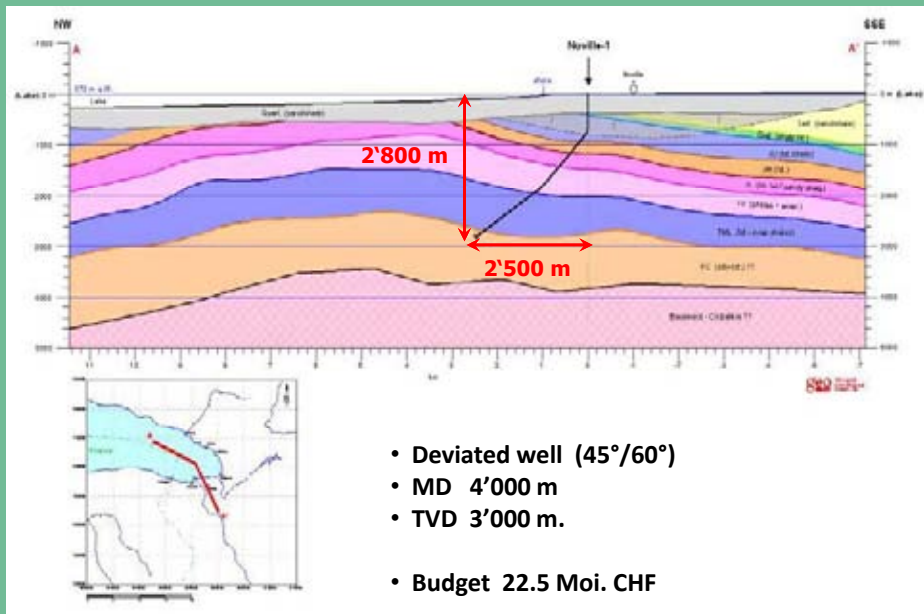
RCM

geothermie

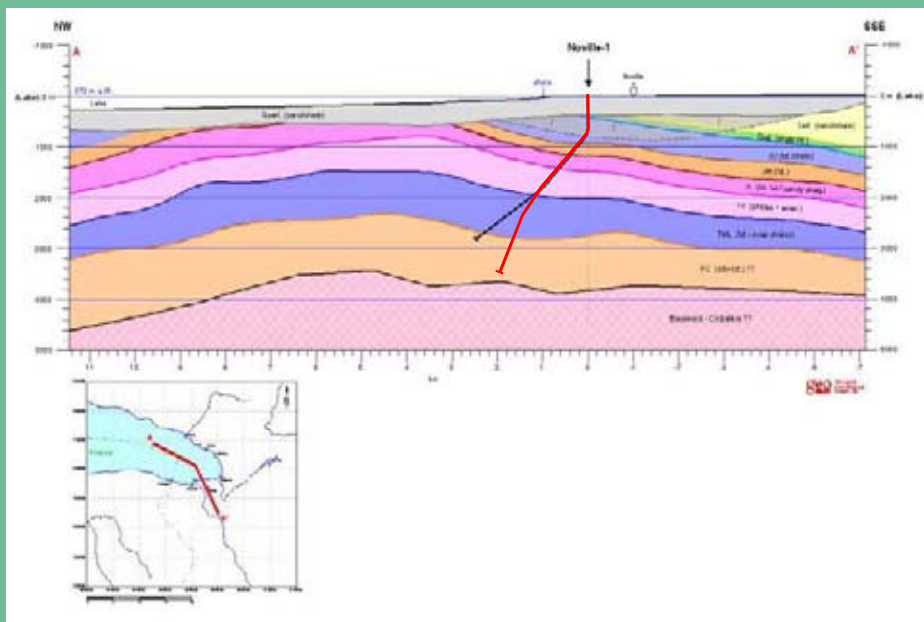
12



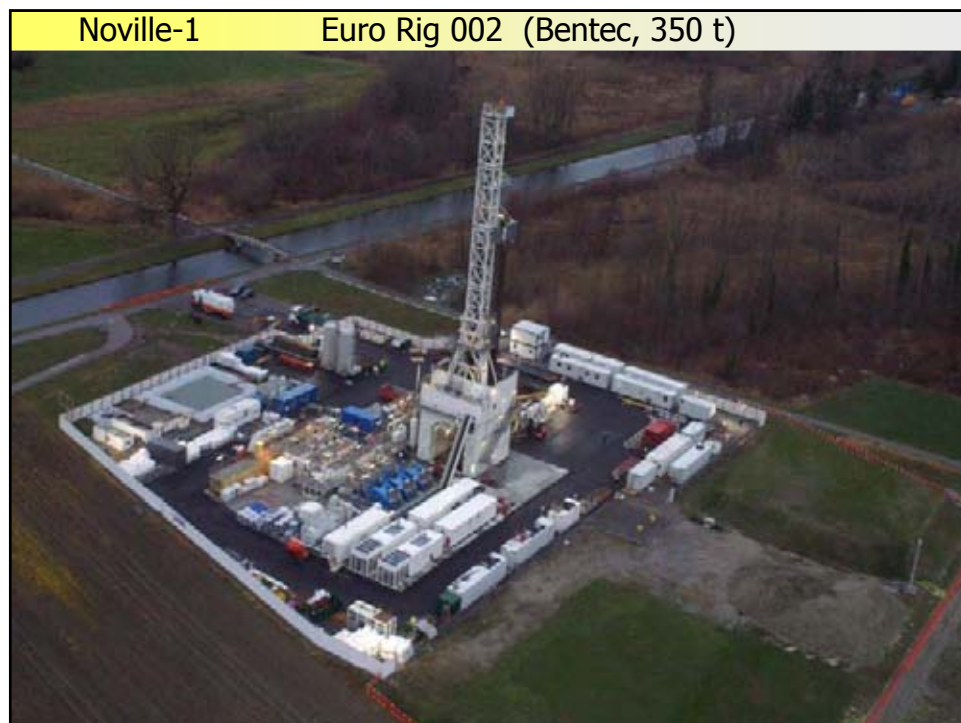
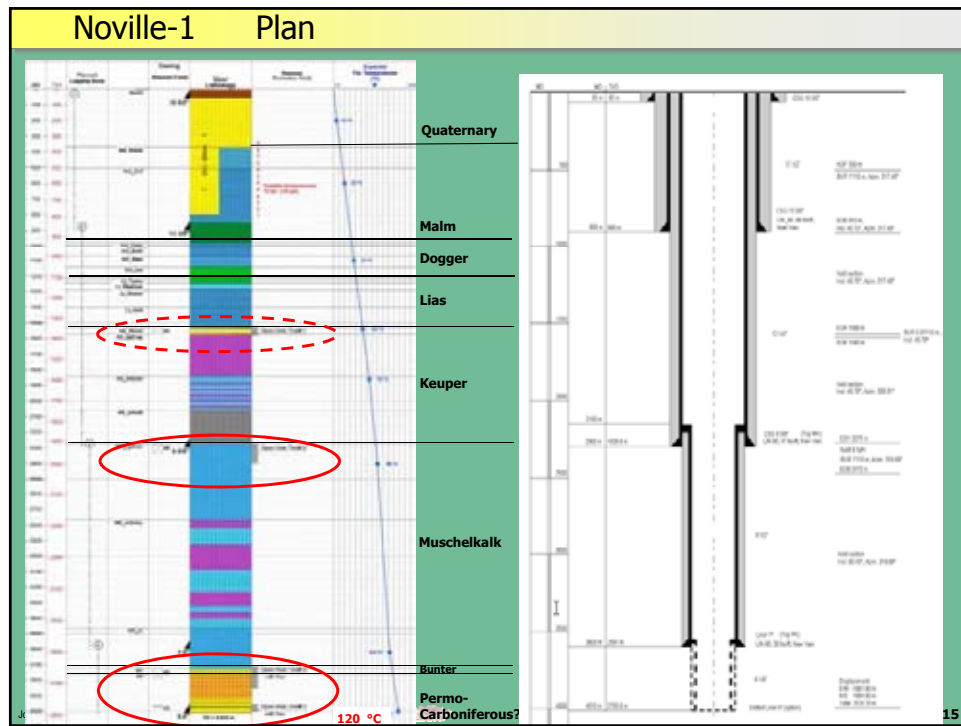
## Noville-1 Plan



## Noville-1 Drilled







A collage of newspaper clippings about gas drilling in Lake Geneva. The top left clipping is from 'Le Monde' (1998) titled 'First Results'. The top right clipping is from 'Le Monde' (2000) titled 'Du gaz dans l'eau'. The bottom clipping is from 'Le Monde' (2010) titled 'Gaspoker am Genfersee'. The background is a dark, textured surface with a faint image of a drilling rig.

# First Results

J.A. 2000 2000 - 10 104 - Journal de 2000 - 10 104

# Du gaz dans l'eau

**LEMAN** ▶ Les forages menés au fond du lac ont permis d'y trouver du gaz. Le gisement sera-t-il exploitable? Les spécialistes de Petrosviri se gardent de crier victoire...24

# Gaspoker am Genfersee

Letztem Winter sucht die Petrosviri unter dem Pise nach Gas. Wegen hartem Verzögert sich die Bohrung. Das kostet

**Helmsche Versorgung gesichert**

Das schreckt die beiden Besitzer von Petrosviri - den westschweizerischen Gasspezialisten und das kommunale Gaswerk Halden - jedoch nicht. Sie hoffen nach wie vor, mit der Verrohrung die ganz neue Gasquelle zu erschließen. Doch sollte Petrosviri eine unterirdische Lagerstätte, besteht eine 50-Prozent-Mehrheit auf ein Gasvorkommen von mindestens 20 Milliarden Kubikmeter Gas. Zum Vergleich: Die

**Kosten laufen aus dem Ruder**

re Gründe: Zum einen haben sich jene russischen Messungen aus den 1990er Jahren, nach denen der Zehnplan bemessen wurde, in der Bohrung nicht erfüllt. Zudem die oberen Schichten war einen Kilometer tiefer als erwartet, sagt Leo. Die Bohrung wurden deshalb tiefer ausgeführt. Zudem sind die Bohrung auf 4000 Metern tiefer. Die Bohrung auf 3000 Metern ist deshalb auf 3000 Metern eine weitere Schwachstelle. Die Bohrung ist

zu lesen: 10.10.2000  
zu lesen: 10.10.2000  
zu lesen: 10.10.2000

Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon - Noville-1

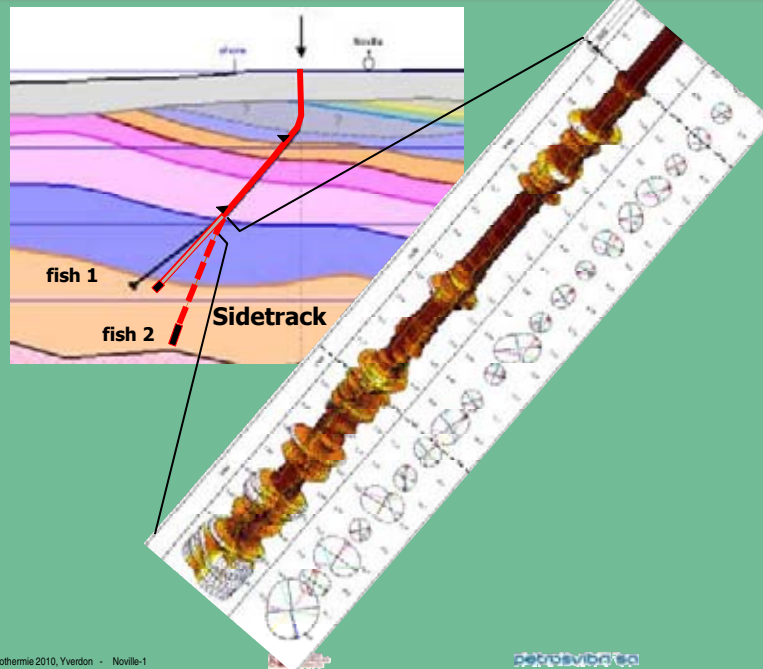
# Cores

3156.0 m 3157.0 m 3158.0 m 3159.0 m 3160.0 m 3161.0 m

3157.0 m 3158.0 m 3159.0 m 3160.0 m 3161.0 m 3161.63 m

Journée romande de la géothermie 2010, 18

## Bad Hole Condition (50°)



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon - Noville-1

19

## Summary

- Targets are deeper >> TD ~4'300 m MD
- Mesozoic section shows distinct facies/thickness changes compared to reference wells (Romanens-1, Faucigny-1)
- Permocarboneous section confirmed (gas shales / coals)
- Good shows >> Formation testing in Oct./Nov. 2010
- Formation temperature ~105 °C (3'500 m TVD)  
~ 28.5 °C/km (linear !)
- So .....

Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon - Noville-1

AGU

geothermal

20



**Noville-1 (VD)**

**Géologie, géothermie, exploration gaz naturel  
et état d'avancement du projet**

Yverdon, mardi 28 septembre 2010  
Journée romande de la géothermie

**Merci**

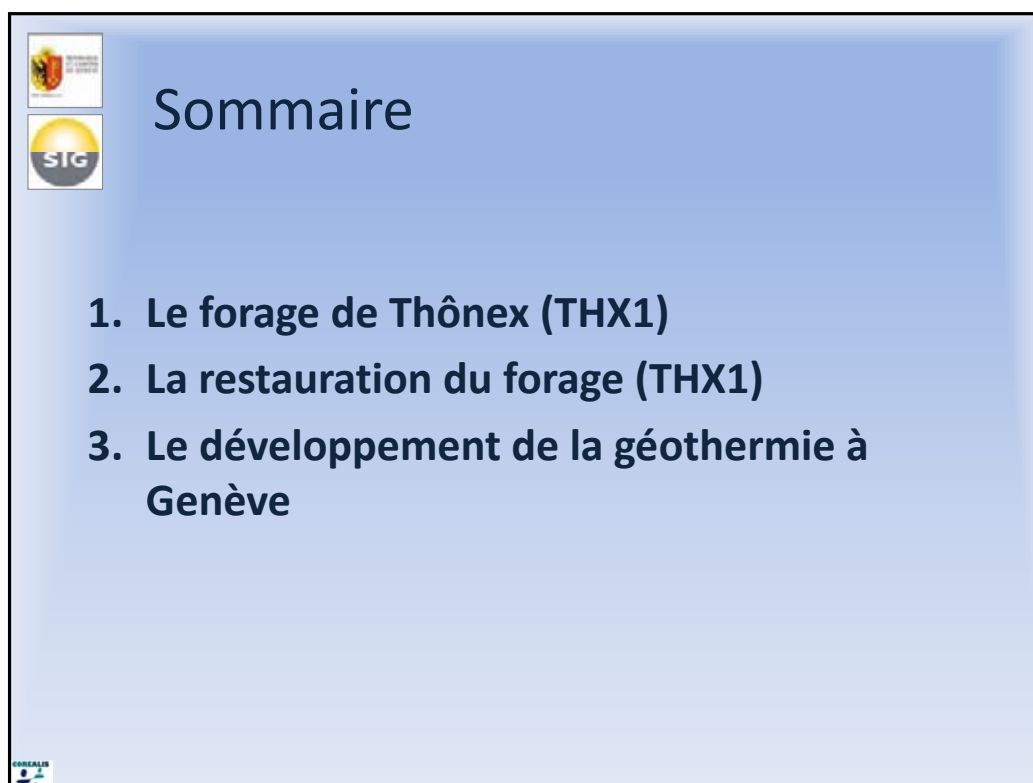
Werner Leu

**petrosvibri sa**

GEOTHERMIE.CH

geo










# 1. Le forage de THX1 1993



## Objectifs de THX 1

**Géologiques:**

- Etablir la stratigraphie de la région jusqu'à 2700m,
- Vérifier la présence d'un aquifère dans le Malm

**Techniques :**



- Levés sismiques
- 2 forages (doublet)

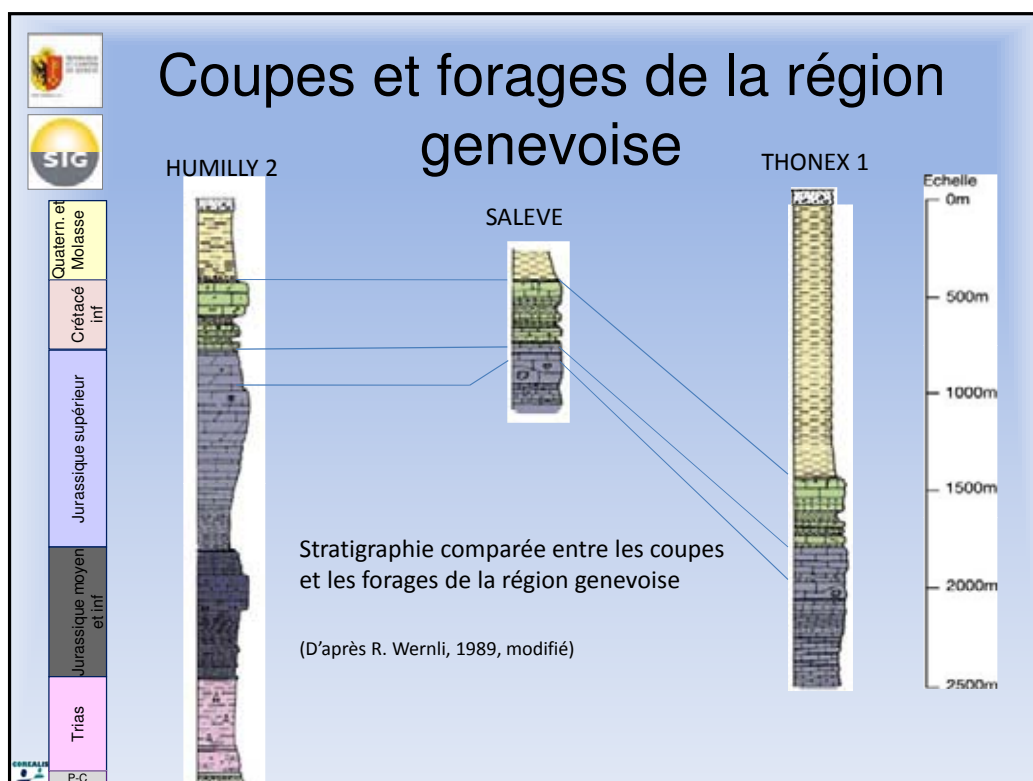
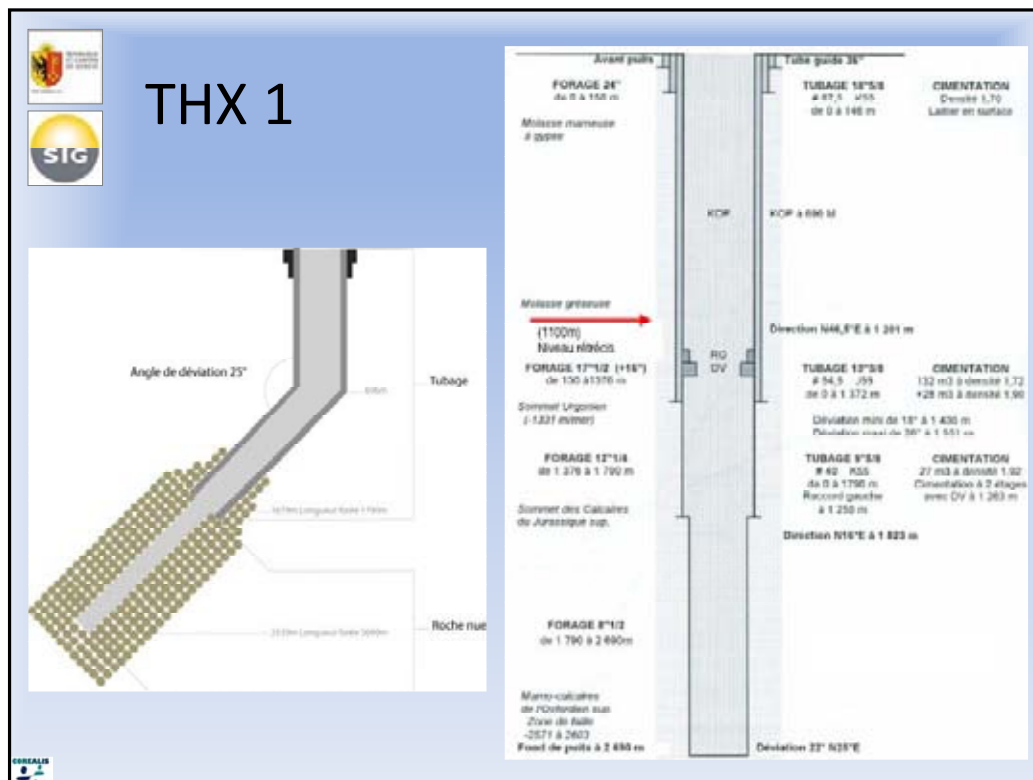
**Géothermiques:**



- Établir le gradient géothermique de la région
- Capter un débit minimum de 20l/s à 60°C

**Financiers :**

- Crédit de 8.7 mios du Canton en 1989
- Garantie de risque de la Confédération



# Résultats

**Géologiques:**

- Stratigraphie établie et relativement conforme aux prévisions
- Aquifère dans le Malm peu productif, car manque de fissures ouvertes

**Techniques :**

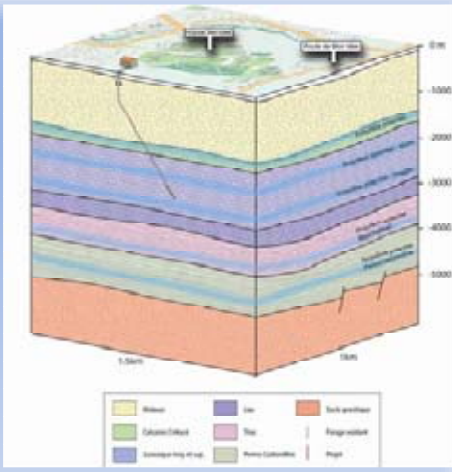
- Levés sismiques mettant en évidence des zones faillées
- 1 forage , plusieurs incidents (pannes, rupture de matériel, erreurs humaines)



**Géothermiques:**



- Gradient géothermique de 3°C/100m
- Essai de production par air-lift (émulsion à l'air) de 51 h a débité initialement 35 m<sup>3</sup>/h, puis baissé rapidement à 20 m<sup>3</sup>/h pour se stabiliser à 11 m<sup>3</sup>/h (3 l/s) après 6 h. Le volume produit a été de 795 m<sup>3</sup> avec un rabattement de 339 m.
- Après l'arrêt du pompage, le niveau de l'eau est remonté et un léger débit artésien s'est manifesté, l'eau s'écoulant hors du forage. La température a été relevée en continu lors de l'essai de pompage, 70°C à 1907 m/sol

**Financiers :**


- Montant total dépensé : 8'676'715.60 F
- Dont une participation de la Confédération de 3'918'641 F





## 2. La restauration de THX1





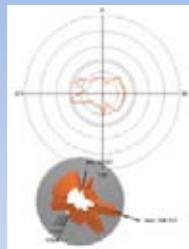


# CALIPER avec sonde scanner acoustique

1<sup>ère</sup> étape: vérification de l'état du tubage



Etat du tubage à 30 m,  
légère déformation ou  
inclinaison de l'appareil ?  
Pas possible de distinguer.



Etat du tubage à 1165 m.  
Rétrécissement dû à un  
bouchon.



- Forage bouché à 1165 m



## Inspection vidéo

2<sup>ème</sup> étape: connaître l'origine du bouchon et observer les anomalies du tubage



Jointure entre les tubes d'acier



Ecaillage de l'encroûtement

- Parois du tubage en bon état
- Encroûtements bactériens (fer, soufre, calcium et matière organique)





# COILED TUBING

3<sup>ème</sup> étape: nettoyage du tubage

- Injection d'eau sous pression à 200 bar
- Nettoyage effectué jusqu'à la fin de la partie tubée à 1790 m



## Restauration du forage, 20 mars 2009





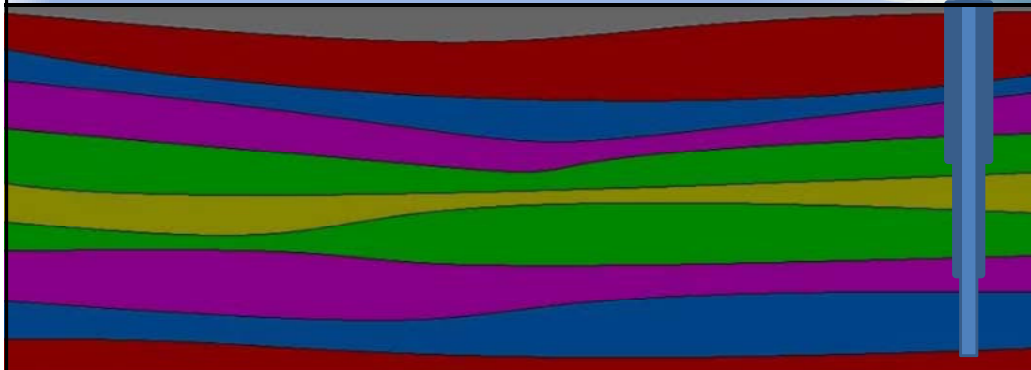
## CALIPER de contrôle, 30 avril 2009

4<sup>ème</sup> étape: contrôle du forage

- Une sonde caliper à 3 bras pour mesurer le diamètre au-delà du tubage en acier
- Une sonde de température
  - ▶ Profondeur atteinte : 1850 m
  - Obstruction avec blocs de calcaire !
  - ▶ Température : 67 C
  - ▶ Diamètre du tubage régulier



## 3. Le développement de la géothermie à Genève



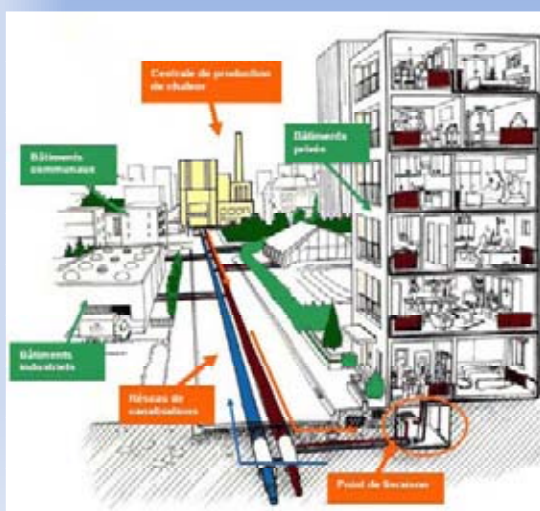


## Stratégie cantonale

- La géothermie est
  - l'un des axes de développement prioritaire
  - une filière d'approvisionnement énergétique offrant les plus importants potentiels en regard de l'objectif de politique énergétique d'une société à 2000 W sans nucléaire.
- Documents officiels
  - Conception générale de l'énergie
  - Plan directeur de l'énergie
  - Programme de législature 2010-2013 du CE



## Stratégie SIG



- Extension et interconnexion des réseaux
- Production de chaleur renouvelable
- Compensation des émissions CO<sub>2</sub>







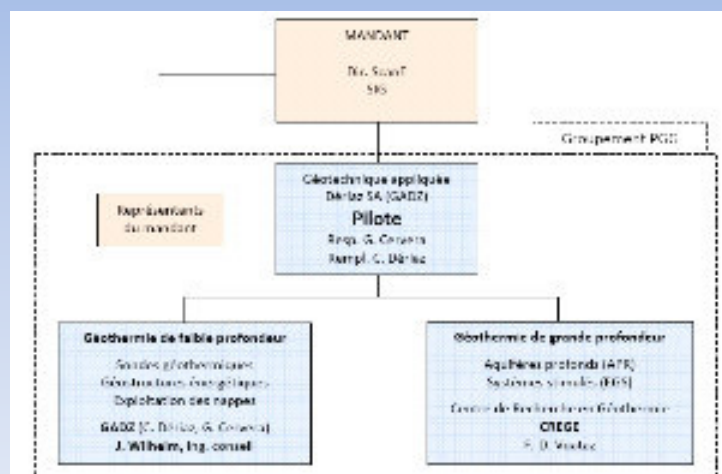
## Grande profondeur Développement en 3 phases

- L'étude du potentiel géothermique genevois (PGG)  
2009-2010
- Le programme cantonal de prospection et d'exploration du sous-sol genevois  
2011-2013
- Les projets énergétiques  
2013- 2025



## L'étude du PGG

### Potentiel Géothermique Genevois





## Les livrables du PGG

- GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DU CANTON JUSQU'À 400 M)
- LES SONDES GEOTHERMIQUES VERTICALES
- LES GEOSTRUCTURES
- EXPLOITATION THERMIQUE DES NAPPES PHREATIQUES
- LE STOCKAGE SAISONNIER
- RESSOURCES EN AQUIFERES PROFONDS (APR
- GEOTHERMIE DE GRANDE PROFONDEUR - SYSTEMES GEOTHERMIQUES STIMULES (EGS)



## Programme cantonal de prospection et d'exploration du sous-sol genevois



### Objectifs :

- lever les inconnues existantes du sous-sol genevois
- réaliser un modèle 2D/3D du sous-sol genevois avec les techniques de pointe
- définir les futurs projets (sites, profondeurs, POS)

### Spécificités des différentes couches, telles que :

- leur profondeur
- leur nature et leur épaisseur
- la porosité des zones présumées aquifères
- la circulation de l'eau dans le sous-sol

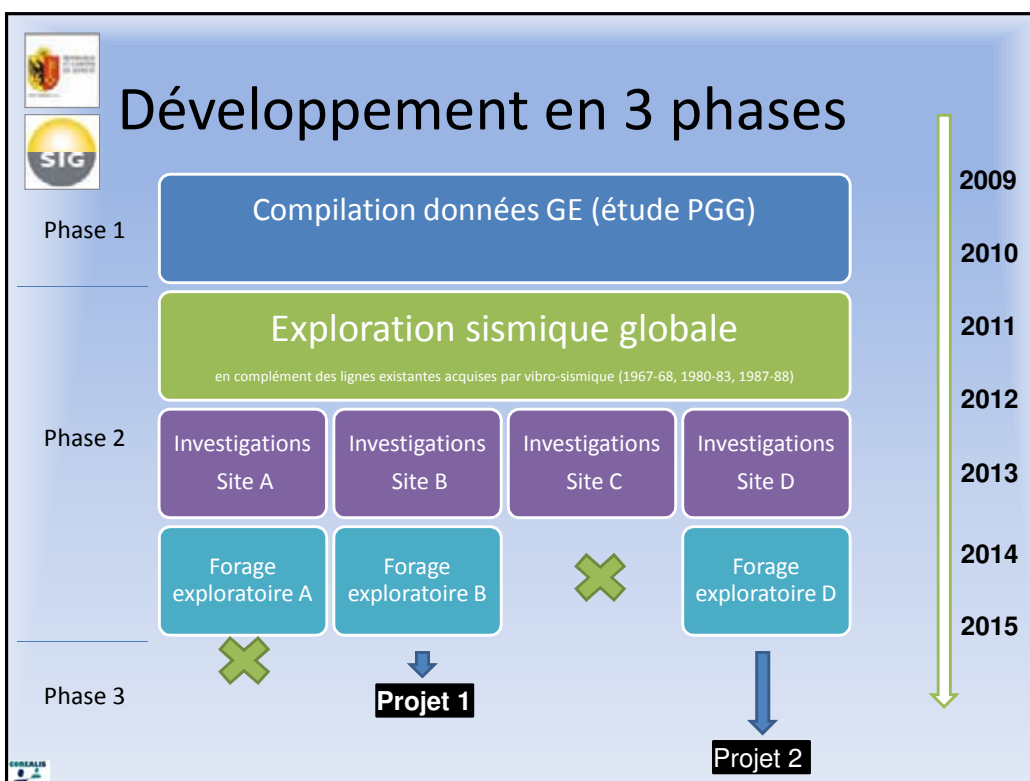


## Définition du programme

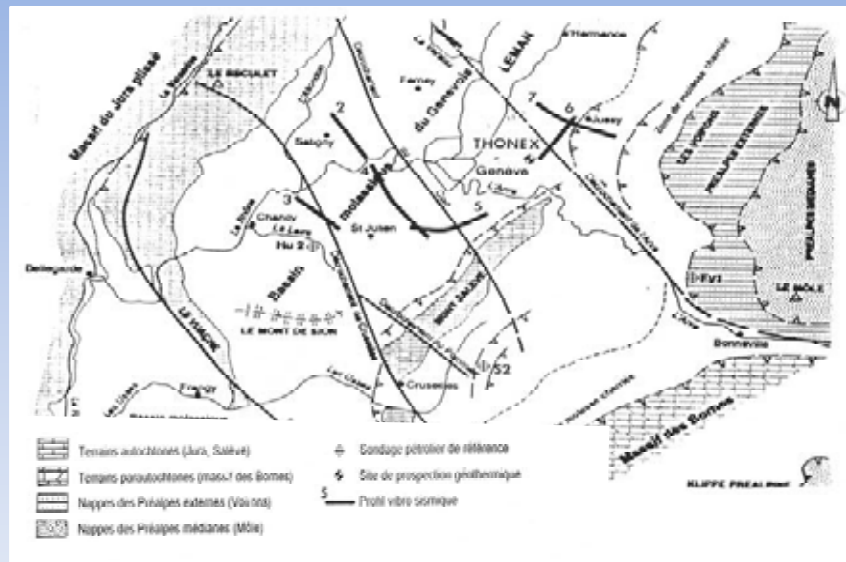
### Travaux en cours

- Définition du programme scientifique
  - Investigations de surface (p. ex. géophysique 2D vs 3D)
  - Choix du/des site(s) d'exploration
  - Forage(s) et analyses
- Analyse des risques
- Budget et financement
- Mise en place de la structure organisationnelle
- Planification
- Procédures de demandes d'autorisation et EIE
- Plan de communication

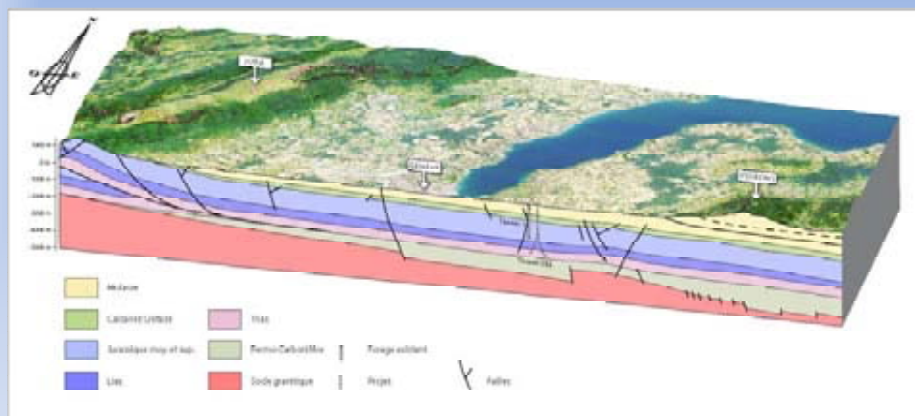




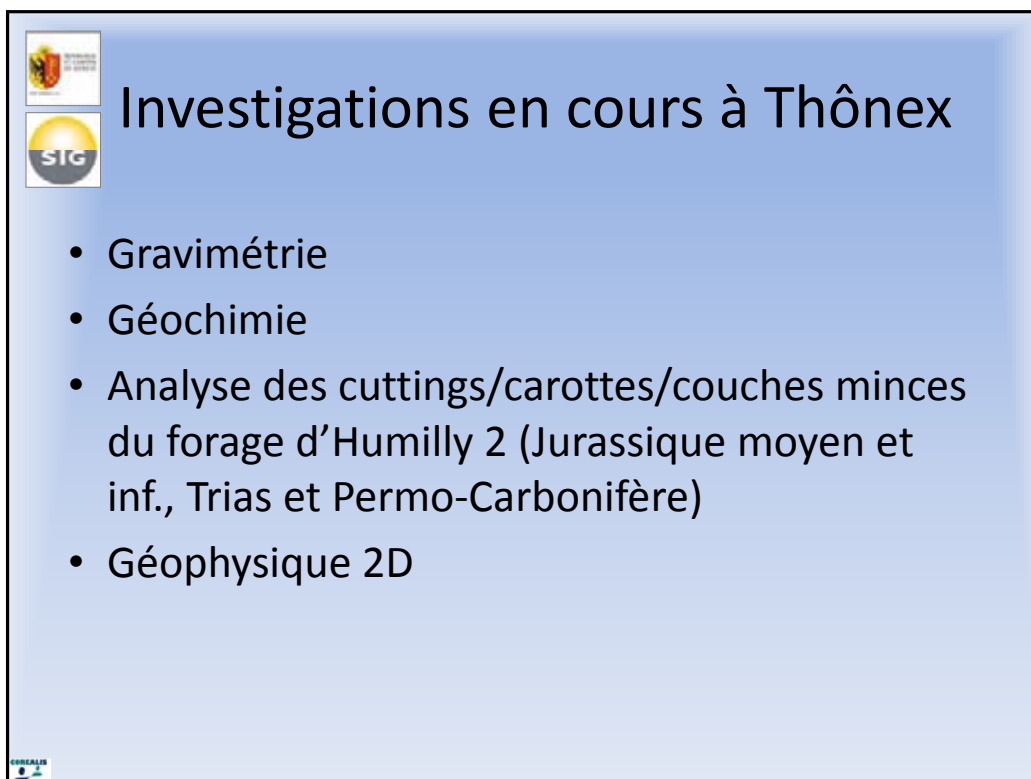
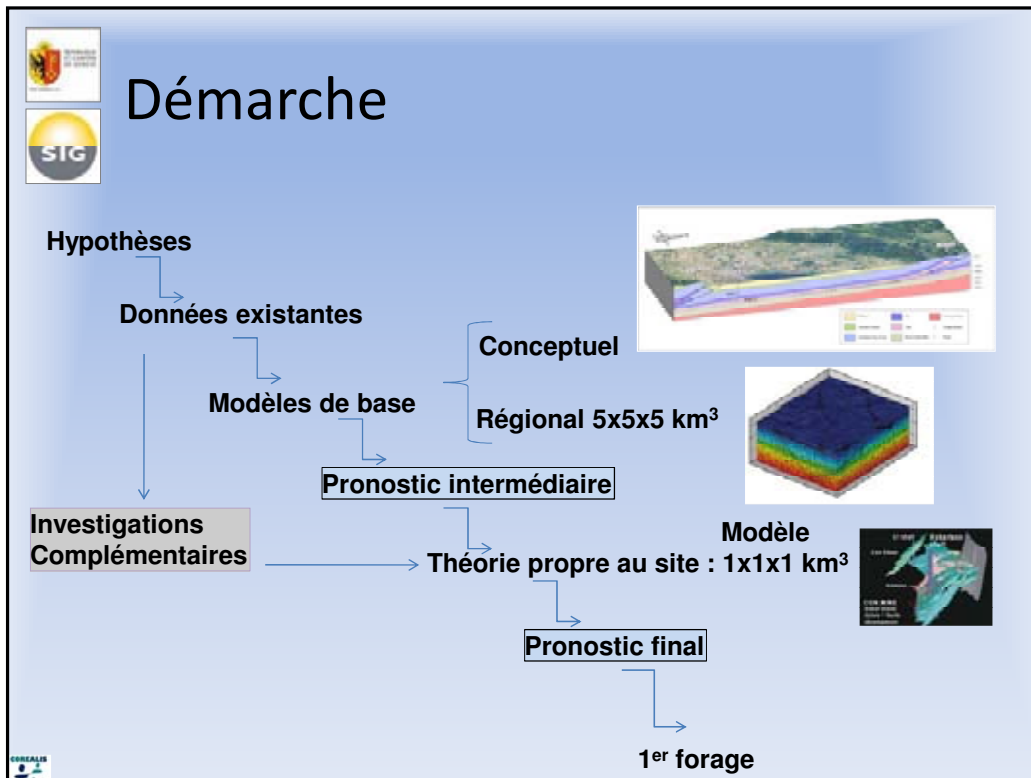
## Situation genevoise

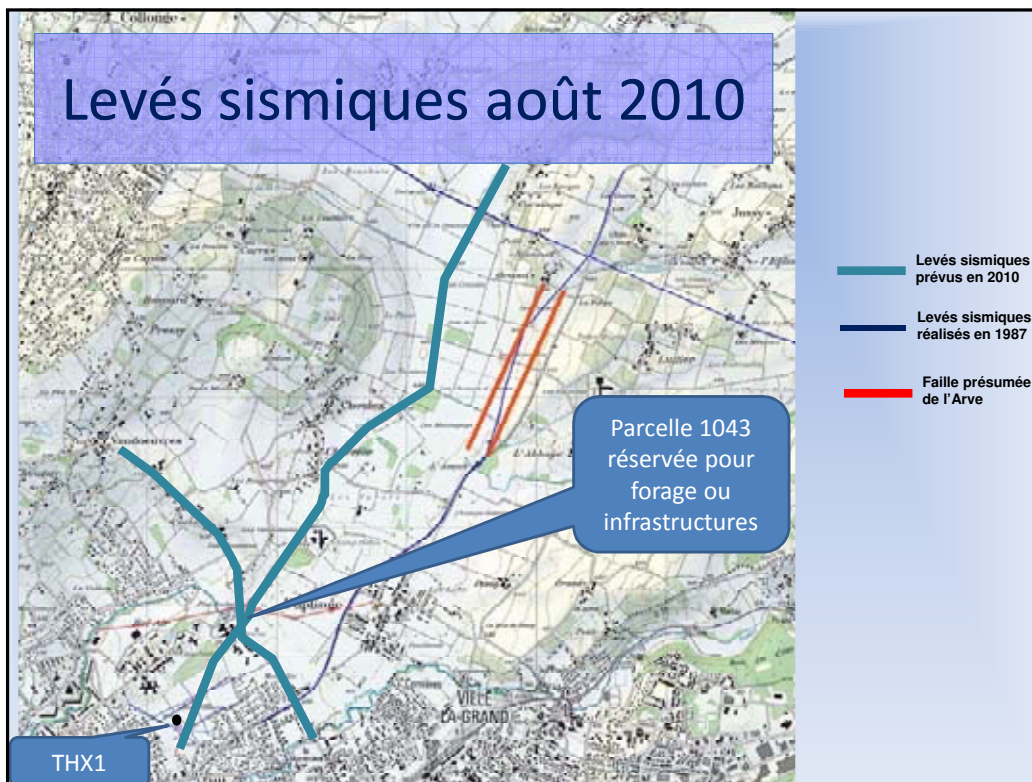


## Situation genevoise









# **Formation en géothermie et Méthodes d'exploration applicables dans des projets de géothermie profonde**

**Eva Schill, F. Vuataz, P. Klingler,  
P. Baillieux, Y. Abdelfettah,  
J. Geiermann, H. Deckert, S. Koch**



Eva Schill / 05.10.10



## **Master in hydrogeology and geothermics**

### **DESCRIPTION DES COURS**

- Le Master of science (maîtrise universitaire ès sciences), spécialisé en hydrogéologie et géothermie est une formation de 120 ECTS. Cette formation a été accréditée par la Conférence universitaire suisse (CUS) sur la base du rapport final de l'Organe d'accréditation et d'assurance-qualité des hautes écoles suisses (OAQ).



Eva Schill / 05.10.10



# Master in hydrogeology and geothermics

## DESCRIPTION DES COURS

### Modules

#### Module commun 1

Hydrogéologie générale, Environnements hydrogéologiques, Environnements hydrogéologiques, Hydrochimie et Microbiologie, Traceurs naturels et artificiels

#### Module commun 2

Introduction à la géothermie, Géothermie de basse température et faible profondeur, Hydrodynamique et Processus de transport, Camp de cartographie géologique

#### Module commun 3

Analyse quantitative de donnée et modélisation statistique, Modélisation et simulation numérique, Géologie appliquée, géotechnique et risques naturels

45 ECTS



Eva Schill / 05.10.10



# Master in hydrogeology and geothermics

## DESCRIPTION DES COURS

### Module 4-G spécifique géothermie

Transport de chaleur  
Modélisation avancée des réservoirs  
Exploration  
Simulation numérique des processus géothermiques  
Méthodes d'ingénierie géothermique  
Exploitation des réservoirs  
Hydrogéochimie et prospection des fluides géothermiques

30 ECTS

Séminaire bibliographique, Camp de terrain, Excursions et voyage d'étude

15 ECTS

Travail de Master

45 ECTS

**Total Master spécialisé en Hydrogéologie-Géothermie**

**120 ECTS**



Eva Schill / 05.10.10





# VOYAGE D'ETUDES EN ISLAND

**Islande:**  
**Systèmes géothermique**  
**en haute enthalpie**



**Central à Svartsengi:**  
**Problème de dépôt de Si-**  
**amorphe**



Eva Schill / 05.10.10



## TRAVAIL DE MASTER ET PROJETS DE RECHERCHE

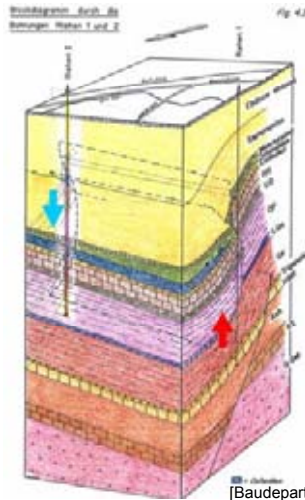
- Projet « Riehen Plus » :
  - Augmentation du débit de actuellement 18 l/s à 23 l/s
- Master thèses de Philip Klingler
  - But de projet:
    - La caractérisation géologique et hydrogéologique du réservoir géothermique de Riehen BS pour l'estimation des conséquences techniques d'augmentation de débit
- Contribution for geological modeling from:  
P. Huggenberger and H. Dresmann (Uni Basel)



Eva Schill / 05.10.10



## 1988: Hydrothermal project Riehen



**1988:** Well RB1 (producer, 1547 m depth, Muschelkalk, 65 °C) et RB2 (injector, 1247 m depth, Muschelkalk, 52.2 °C)

**1989:** Pressure connection demonstrated in a pumping test [Hauber et al., 1989]

**1997:** First trans-border heating system between Germany and Switzerland

**2006:** Riehen-Plus: Enhancement of the production from 18 l/s to 23 l/s

**Financed by the Bundesamt für Energie BfE:**

**Investigation of the fluid transport :**

- 3D geological modeling and gravity
- Tracer experiment since 03.11.2009

[Baudepartement Basel-Stadt 1989]

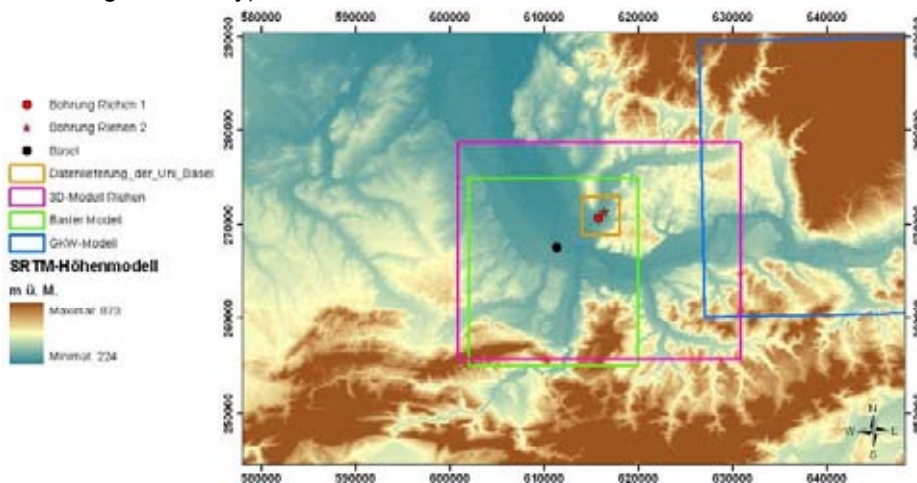
chyn

Eva Schill / 05.10.10

unine  
Université de Neuchâtel

## 3D geological model

Elevation model: SRTM-Daten (Shuttle Radar Topography Mission – US Geological Survey)

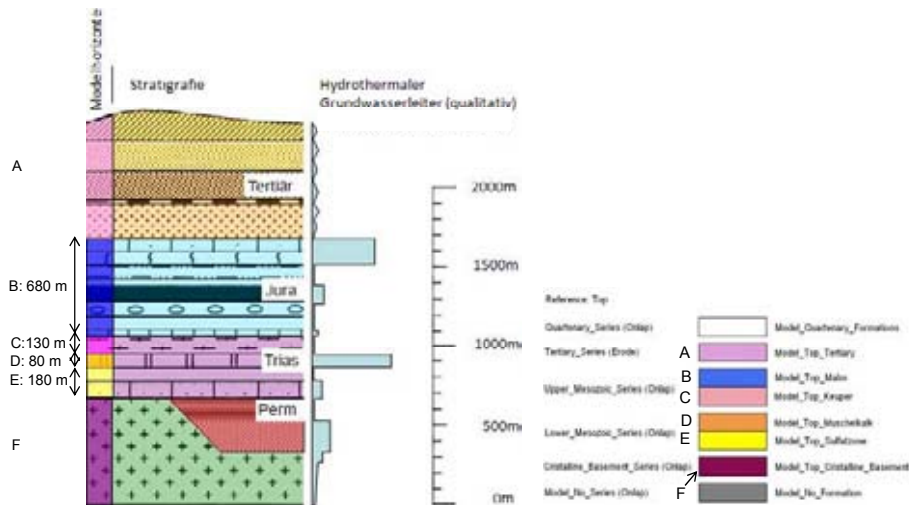


chyn

Eva Schill / 05.10.10

unine  
Université de Neuchâtel

## Model stratigraphy



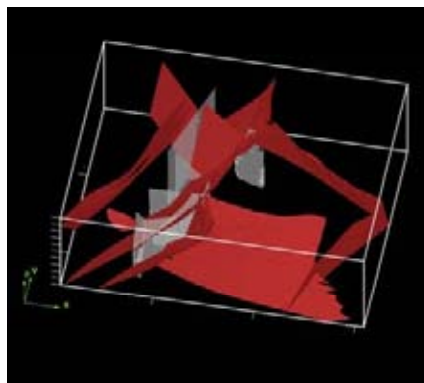
chyn

Eva Schill / 05.10.10

unine  
Université de Neuchâtel

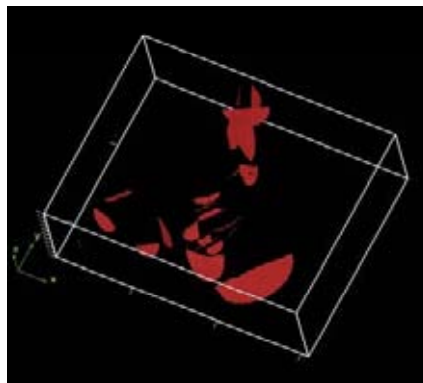
## Fault modelling

### Main faults



- Infinite structures
- Constant offset
- Fault can only be terminated by another

### Minor faults



- Finite Ellipses
- Horizontal and vertical extension, radius of influence
- Maximum offset in the middle, smaller towards end

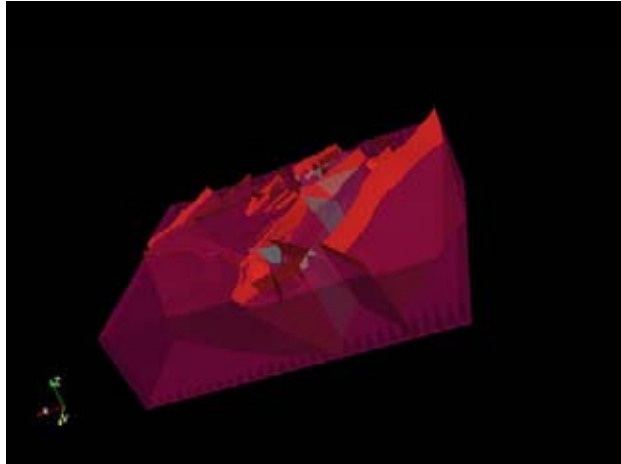
chyn

Eva Schill / 05.10.10

unine  
Université de Neuchâtel

## 3D geological model Riehen

Formation Top basement



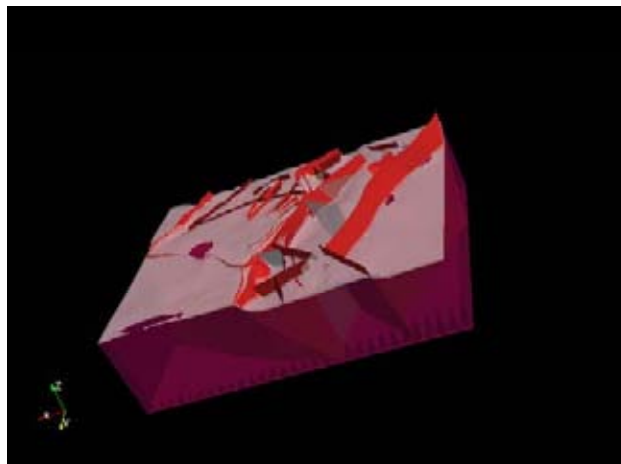
chyn

Eva Schill / 05.10.10

Université  
de Neuchâtel **unine**

## 3D geological model Riehen

Formation Top sulfate zone



chyn

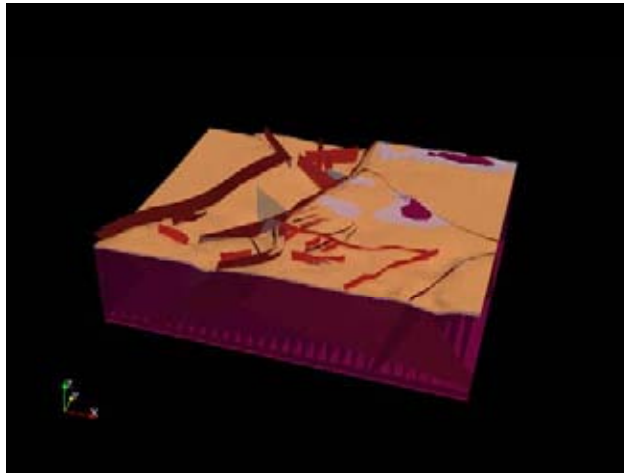
Eva Schill / 05.10.10

Université  
de Neuchâtel **unine**



## 3D geological model Riehen

Formation Upper Muschelkalk



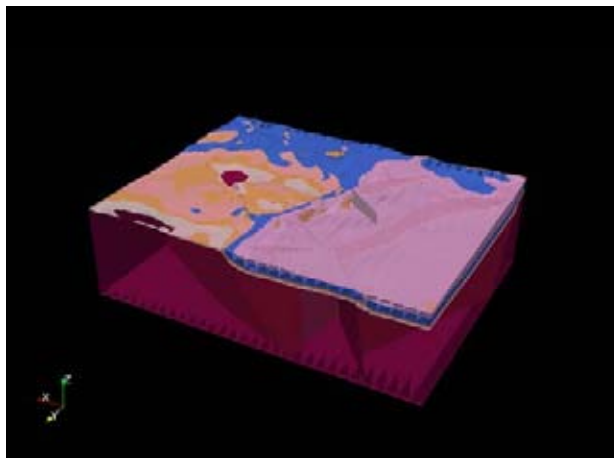
chyn

Eva Schill / 05.10.10

Université  
de Neuchâtel **unine**

## 3D geological model Riehen

Complete model



chyn

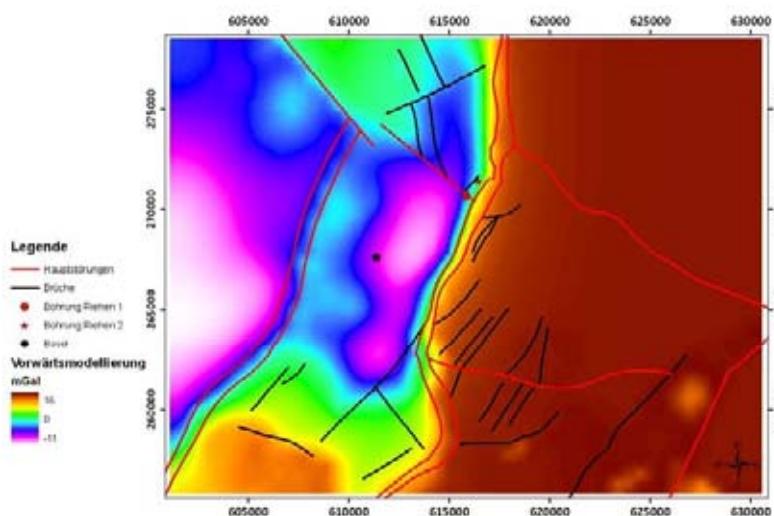
Eva Schill / 05.10.10

Université  
de Neuchâtel **unine**

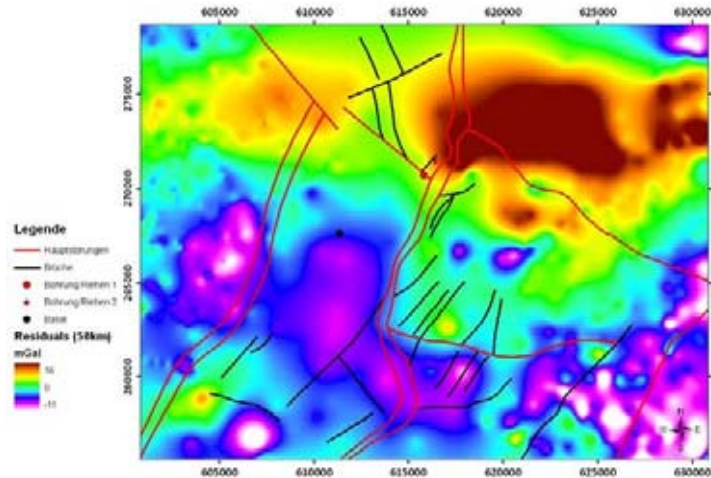
## Major characteristics of the model

- The crystalline basement and paleozoic sediments (Perm and Carboniferous) are undifferentiated
- Inhomogenous data distribution in the input data, thus differences in the uncertainty of the modell, e.g. NW of the boundary fault

## Verification of the geological model using gravity – forward model



## Verification of the geological model using gravity – residual anomaly



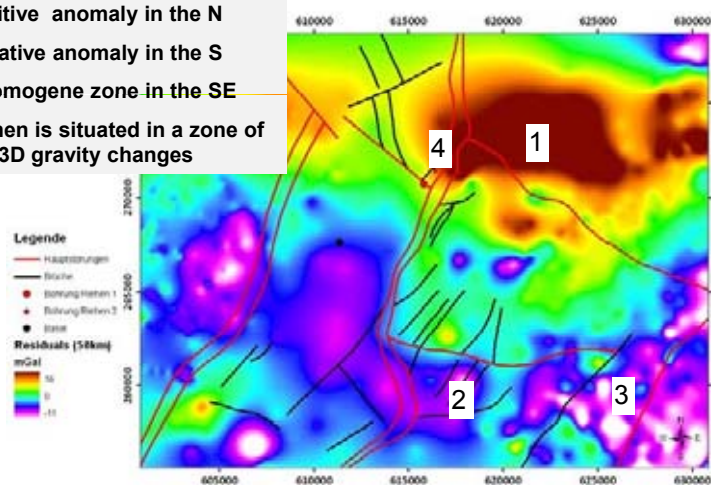
chyn

Eva Schill / 05.10.10

unine  
Universität  
de Neuchâtel

## Verification of the geological model using gravity – residual anomaly

- [1] Positive anomaly in the N
- [2] Negative anomaly in the S
- [3] Inhomogeneous zone in the SE
- [4] Riehe is situated in a zone of strong 3D gravity changes



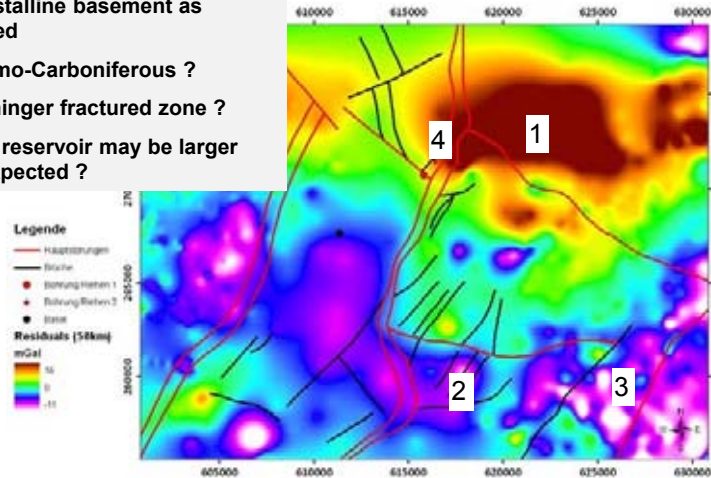
chyn

Eva Schill / 05.10.10

unine  
Universität  
de Neuchâtel

## Verification of the geological model using gravity – residual anomaly

- [1] Crystalline basement as expected
- [2] Permo-Carboniferous ?
- [3] Zeininger fractured zone ?
- [4] The reservoir may be larger than expected ?

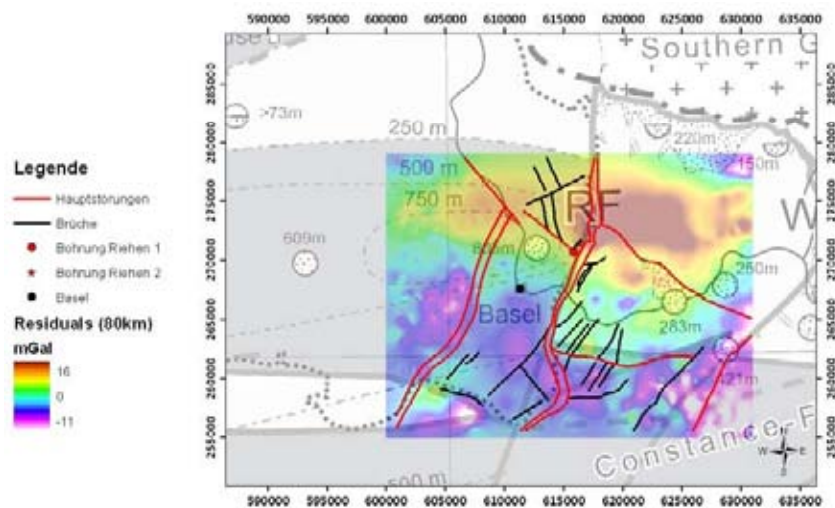


chyn

Eva Schill / 05.10.10

unine  
Universität  
de Neuchâtel

## Permo-Carboniferous troughs



modified after Ustaszewski 2004

chyn

Eva Schill / 05.10.10

unine  
Universität  
de Neuchâtel

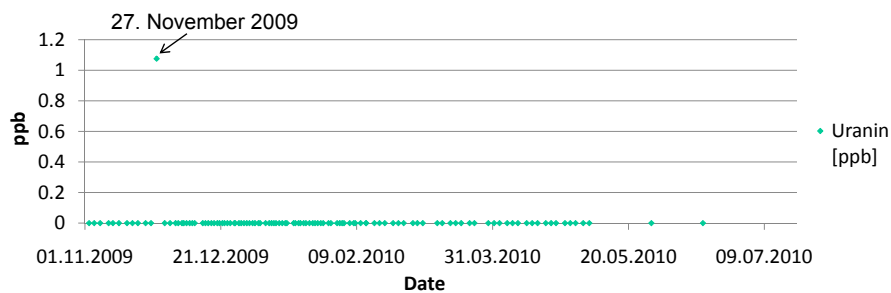


## Tracer Test

- 10 kg Uranin-powder (Reactolab) with 1000 l water
- **Injection:**  
03.11. 2009 between 12:30h and 14:10h  
Pump: JEXM 80D pressure from the well of 3.3 bar
- Aim: Hydraulic connection between the injection and the production well ?

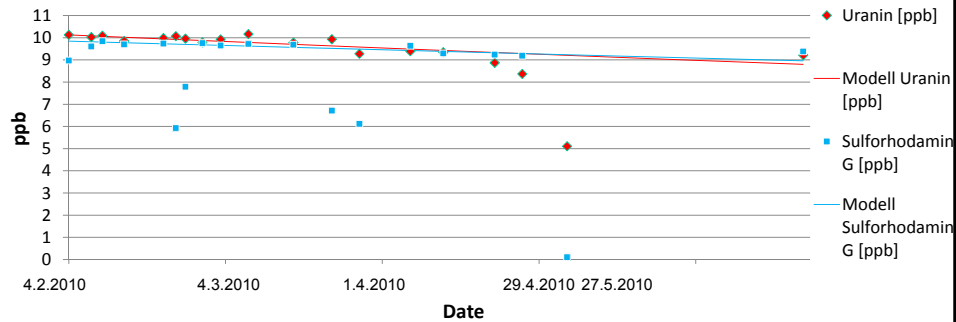


## Determination of Uranin in the samples from the production well



- **Within the experiment no connection between the injection and production well could be observed**

## Experiment on thermal degradation of Uranin



Dissolution with 10 ppb Uranin and Sulforhodamin G during 4 month in the heater at 65°C

Constant of decay  $k$  Uranin:  $1.24 \cdot 10^{-8}$   $C = C^0 e^{-k \cdot t}$   
 Constant of decay  $k$  Sulforhodamin G:  $8.34 \cdot 10^{-9}$

chyn

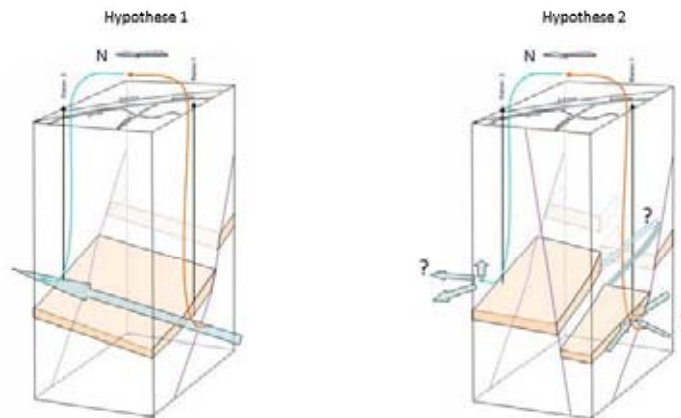
Eva Schill / 05.10.10

Université de Neuchâtel **unine**

## Possible regional flow field

Strong groundwater flow from the production to the injection well

Weil am Rhein fault separates the aquifer in two parts



chyn

Eva Schill / 05.10.10

Université de Neuchâtel **unine**

## Criteria for potential resources

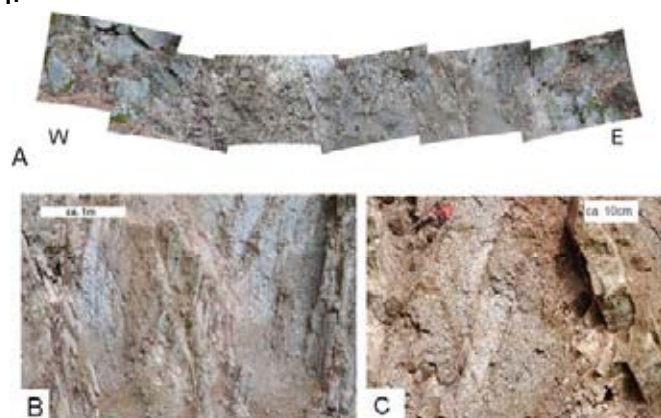
- Temperature (depth of the resource)
- Hydrogeology
- Stimulus
- Secondary resources
- Reservoir
- Energy
- Utilization

### Problems:

- 1) How to determine the volume of fault zones ?
- 2) How to determine the permeability ?
- 3) How to detect the geothermal fluid ?

## Analog studies at the surface – southern Black Forest

- 15m large cataclasite zone between Tiefenstein and Görwihl



Deckert, 2010

## Fracture volume

- Fractured volume calculation by analysis of leakoff

$$\frac{dV}{dt} = Q_{\text{injected}} - Q_{\text{leakoff}}$$

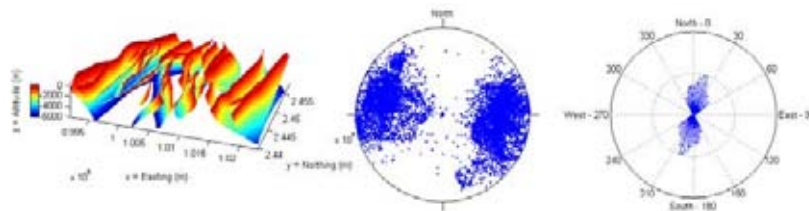
$$Q_{\text{leakoff}} = \int_{\text{fracture}} v_{\text{leakoff}} dA$$

$$v_{\text{leakoff}} = \frac{k}{\mu} \frac{p_{\text{fracture}} - p_{\text{residual}}}{d_{\text{penetrated}}}$$

$$d_{\text{penetrated}} = \int_0^t v_{\text{leakoff}} dt$$

## 3D geological model

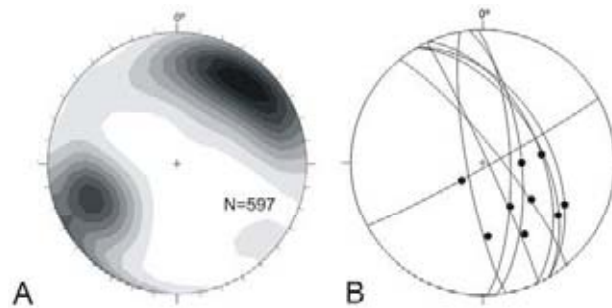
- Fracture system in the area of Soultz-sous-Forêts





## Analog studies at the surface

- 15m large cataclasite zone between Tiefenstein and Görwihl: orientation of fractures with shearing



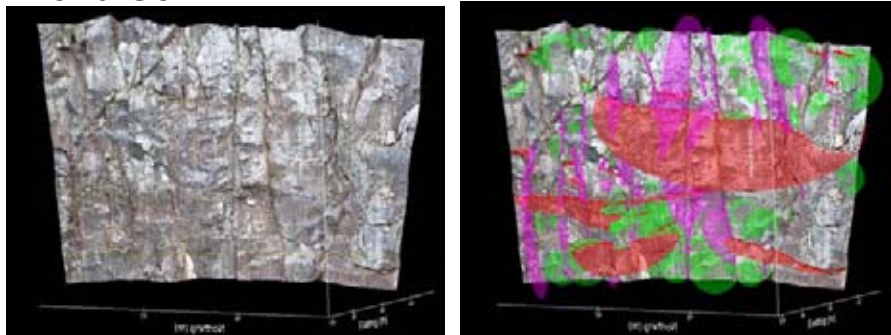
chyn

Eva Schill / 05.10.10

Université de Neuchâtel **unine**

## Analog studies at the surface

- 15m large cataclasite zone between Tiefenstein and Görwihl



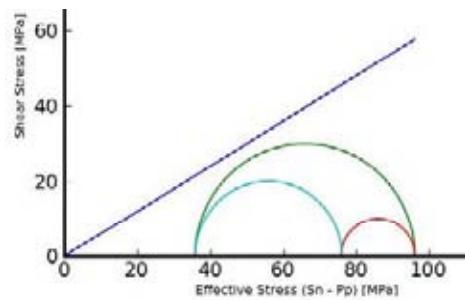
chyn

Eva Schill / 05.10.10

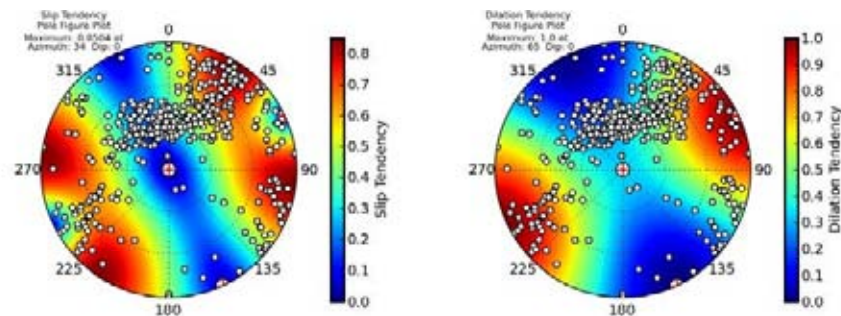
Université de Neuchâtel **unine**

## Assumption

- Recent stress field in the Rhine valley after Buchmann & Conolly 2007

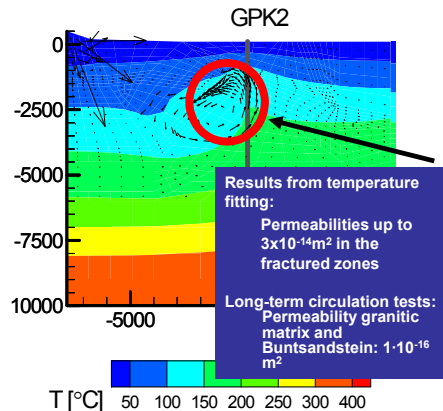


## Slip and dilation tendency of fractures



## Challenge: Porosity / Permeability of fault zones

### Temperature and circulation test



### NPHI (neutron porosity)

- NPHI reveals (Genter, 1989)
- Mean porosity of unaltered granite: 1.5%
- Mean porosity of granite in the reservoir: 7.78%

chyn

Eva Schill / 05.10.10

unine  
Université de Neuchâtel

## Porosity $\phi$ and its relation to geophysical measurements

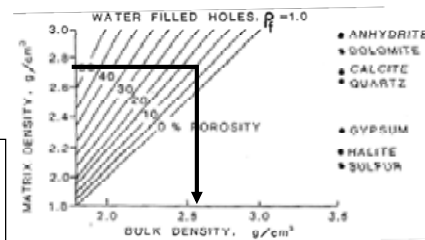
- Porosity  $\phi$  (% or  $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ )

Volume of voids per total volume:

The effective advective flow porosity  $\phi_a$  of the total system, matrix  $\phi_m$  (generally small) and fractures  $\phi_f$ :  $\phi_f \sim \phi_a$ .

$$\phi_a = \frac{S}{h \cdot \rho \cdot g \cdot c_w}$$

Density  $\rho$  ( $\text{kg m}^{-3}$ )  
Earth's acceleration  $g$  ( $\text{m s}^{-2}$ )  
Storativity  $S$   
Compressibility of water  $c_w$   
Thickness of aquifer  $h$  (m)



- Empirical relationship for the resistivity of a completely saturated rock ( $\rho_0$ ) is given by Archie (1942)

$$\frac{\rho_0}{\rho_f} = F = \phi_a^{-m}$$

Formation factor  $F$   
Cementation factor  $-m$   
(slope of  $\rho_0$  as a function of  $\phi$  on a log-log plot)

chyn

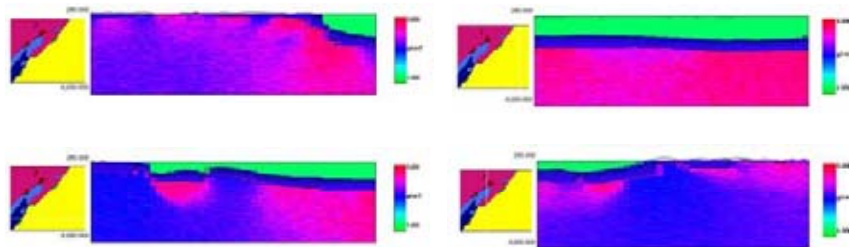
Eva Schill / 05.10.10

unine  
Université de Neuchâtel

## 3D inversion of gravity data (after Mosegaard and Tarantola, 1995)

E-W profiles

N-S profiles

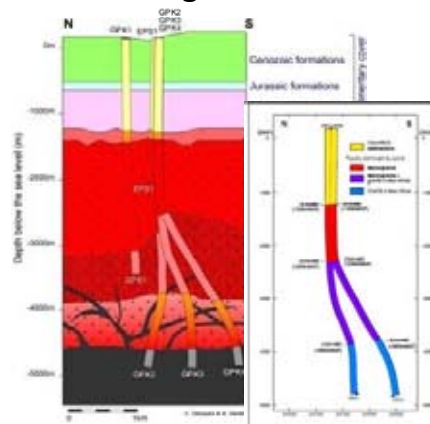


## Conclusion for the porosity at Soultz

### Anomaly due to porosity changes

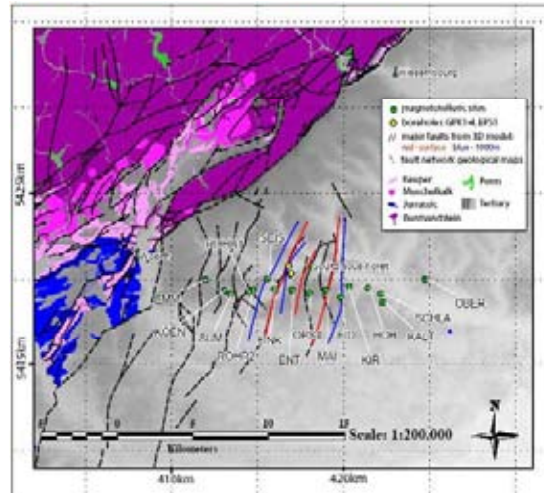
- ❑ Mean density of granite about  $d = 2750 \text{ kg m}^{-3}$
- ❑ Mean density of granitic area around Soultz about  $d = 2500 \text{ kg m}^{-3}$
- ❑ Estimate of porosity necessary to reduce the mean density by  $250 \text{ kg m}^{-3}$  with brine saturated porosity with a brine density  $d = 1000 \text{ kg m}^{-3}$ : about 15% (observed mean density in the reservoir zone: 7.75 %)

### Anomaly due to granitic facies changes (Dezayes and Genter, 2010)





## Challenge : Prospection of fluid-bearing fault zones



chyn

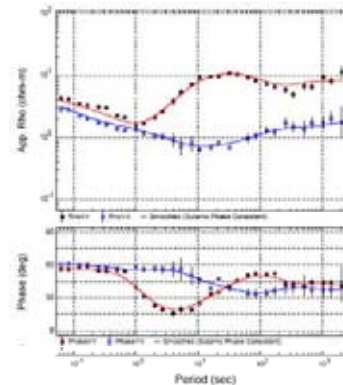
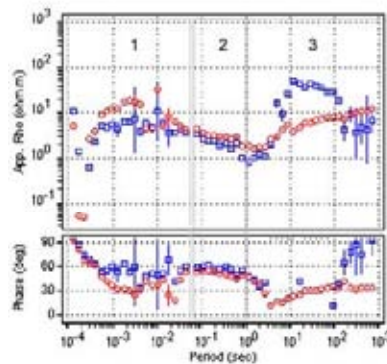
Eva Schill / 05.10.10

Université de Neuchâtel **unine**

## Transfer functions of EMM

Entire frequency range  
(Mapros, unrotated)

LF-2 band  
(WinGLink, rotated by 52°)

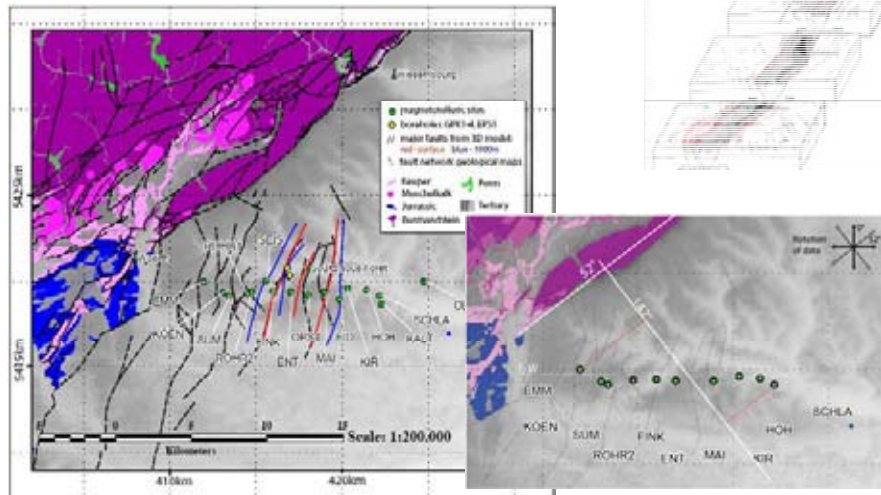


chyn

Eva Schill / 05.10.10

Université de Neuchâtel **unine**

## Rotation of data by 52° due to main strike anomaly

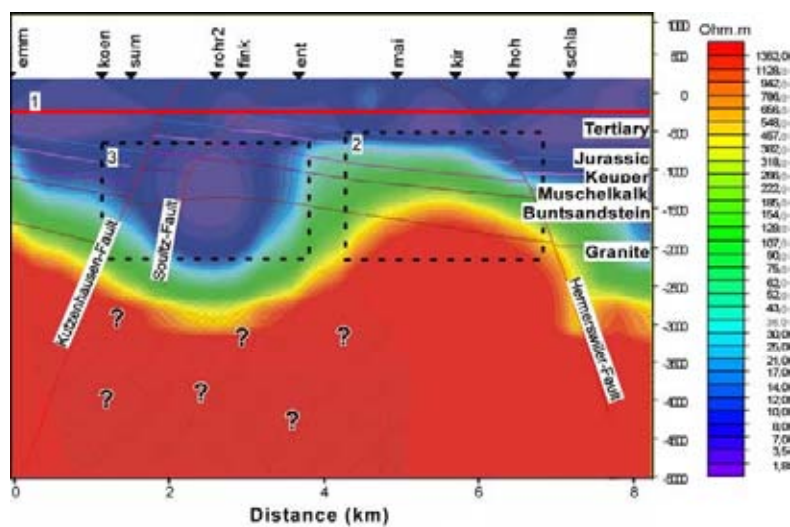


chyn

Eva Schill / 05.10.10

Université de Neuchâtel **unine**

## 2D inversion results



chyn

Eva Schill / 05.10.10

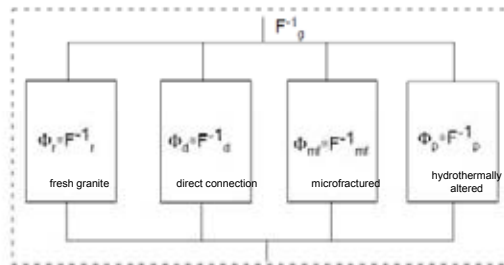
Université de Neuchâtel **unine**

## Archie's Law (1942)

Zones of elevated porosity and high fracture density (metric to hecto-metric scale ) cluster at various depths and are considered to be interconnected (Dezayes et al. 2008).

Conceptual resistivity model based on Archie's Law and geological data:  
(based on average porosity values of the main alteration facies for determining the formation factor F)

$$\rho_b = \rho_f \cdot F_g = \rho_f \frac{1}{(\Phi_r F_r^{-1} + \Phi_d F_d^{-1} + \Phi_{mf} F_{mf}^{-1} + \Phi_p F_p^{-1})}$$



chyn

Eva Schill / 05.10.10

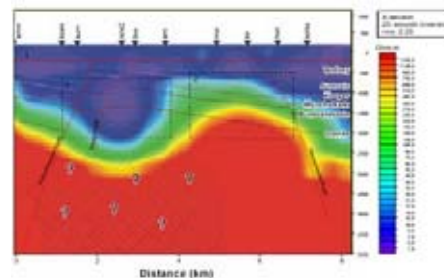
Université de Neuchâtel **unine**

## Conclusions for the porosity at Soultz

### BUNTSANDSTEIN

- ❑ Area 2: For an unaltered Buntsandstein (brine salinity of 100 g l<sup>-1</sup>) with an effective porosity of 1.5 % Archie's law predicts a bulk resistivity of 129 Ωm at 1000 m depth.
- ❑ Area 3: A bulk resistivity of 4.3 Ωm results from a mean porosity of 7.78% for the Buntsandstein in the reservoir zone at 1300 m depth

In the granite, however, the measured mean resistivity is of order 10<sup>2</sup> higher than resistivity calculated out of mean porosity .



chyn

Eva Schill / 05.10.10

Université de Neuchâtel **unine**

# Magnetotelluric measurements (temperature)

## Why magnetotellurics?

Variation of resistivity (in  $\Omega\text{m}$ ) of NaCl solutions from measurements of Ucock et al. (1980). The salinity of several well known geothermal fields are shown for reference.

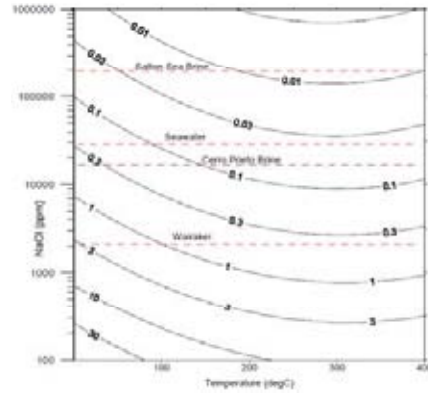
$$\rho_f(T) = \frac{\rho_f(18^\circ\text{C})}{1 + \alpha(T - 18^\circ\text{C})}$$

$\alpha = 0.025 [1/^\circ\text{C}]$  temperature compensation factor

$\rho_f(T)$  = resistivity at an arbitrary temperature

$\rho_f(18^\circ)$  = resistivity at standard temp.  $T = 18^\circ\text{C}$

(Hayashi, 2004)



Soultz  $T = 200^\circ\text{C}$   $\rho_f(T) = 0.02 \Omega\text{m}$

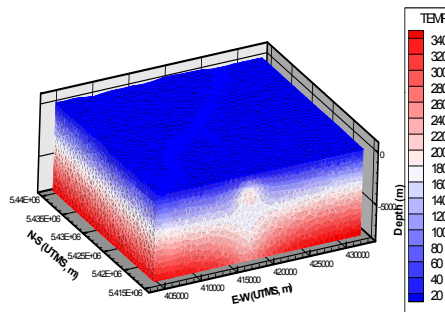
Ussher et al. (2000)



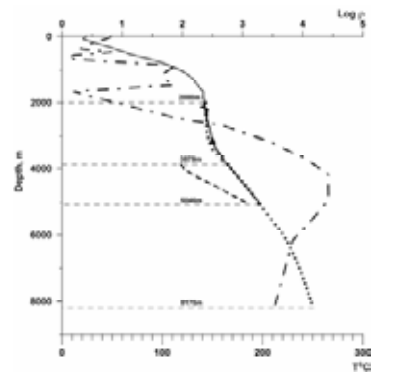
Eva Schill / 05.10.10



# Temperature from electric resistivity using neuronal network



Comparison between the temperature log in the well GPK2 (solid line) with estimated temperature profiles (crosses) for the depth ranges 2000m - 3878m, 3878m - 5046 m and 5046 m - 8175m. The temperature forecast from the depth range 0-2000m directly to the depth range 3878m - 5046 m is shown with dashed line. Adjacent log resistivity profile is marked by dashed - dotted line.



Spichak et al. (in prep.)



Eva Schill / 05.10.10



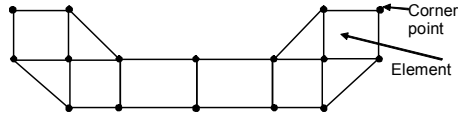


# New developments – Inversion of MT in an existing THMC coupled FE code

Spatial discretisation:

**Anyhow** formed volume can be discretised by corner points

2-D Example:



## Integration

Integrationsmethode => Differential equations have to be transformed into integral form

Integral form of a differential equation in the area  $\Omega$ :  $\int \lambda \nabla^2 T \, \mathcal{A} - \int [\rho c_p]_f \cdot \mathbf{v} \cdot \nabla T \, \mathcal{A} = 0$

Partielle Integration with a interpolation function  $\omega$  (1. Green's Formular):

$$\int_{\Omega} \nabla \omega \cdot \lambda \nabla T \, \mathcal{A} - \int_{\Omega} [\rho c_p]_f \cdot \omega \cdot \mathbf{v}_D \cdot \nabla T \, \mathcal{A} - \underbrace{\int_{\Gamma} \omega \cdot h \, \mathcal{A}}_{\text{BOUNDARYCONDITION!}} = 0 \Rightarrow \text{no 2nd derivative}$$

$\Gamma$  is the boundary and  $h$  the flux through the boundary